

## **COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE REVESTIMIENTOS VERTICALES, EN LA MITIGACIÓN DE LA ISLA DE CALOR URBANA. ÍNDICE DE REFLECTANCIA SOLAR**

N. Alchapar<sup>1</sup>, E. Correa<sup>2</sup>, M. Cantón<sup>2</sup>

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](mailto:nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar)

**RESUMEN:** El aumento de la temperatura urbana tiene un efecto directo sobre el consumo de energía y el confort térmico urbano. Este trabajo evalúa el potencial de enfriamiento pasivo de 80 revestimientos para fachadas de composición acrílica y cementicia, en tonalidades y texturas mayormente difundidas en el parque edilicio local. El estudio se llevó a cabo mediante la determinación de reflectancia solar y temperatura superficial, con respecto a un patrón blanco y uno negro, definido como Índice de Reflectancia Solar (SRI). El material que posee el comportamiento más eficiente es el Acrílico Rulato Travertino Marfil (SRI=100%, Temp. Sup.= 35.1°C), mientras el más ineficiente es el Acrílico Llaneado fino gris plomo (SRI=28,7%, Temp. Sup.= 73.6°C), No obstante existen alternativas intermedias que resultan del efecto combinado de la composición del material, su color y textura. Esta situación demuestra que es posible mitigar el efecto de isla de calor a partir de una adecuada selección de revestimientos verticales.

**Palabras clave:** índice de reflectancia solar, revestimiento vertical, isla de calor urbana, mitigación, urbanismo bioclimático.

### **INTRODUCCIÓN**

El efecto conocido como isla de calor urbana (ICU) produce mayores temperaturas del aire en el centro de las ciudades comparado con sus áreas suburbanas circundantes. Este fenómeno se relaciona principalmente con la alta densidad edilicia (mayor masa de acumulación), la alta absorción de los materiales presentes en la ciudad, la escasez de espacios verdes, las características morfológicas de los cañones urbanos, y el calor antropogénico liberado. (Oke et al., 1991)

Las altas temperaturas urbanas aumentan los consumos de energía para acondicionamiento térmico de verano, incrementando la demanda eléctrica y los problemas de contaminación; además sus resultados extienden la huella ecológica, causan disconfort térmico y problemas de salud en sus habitantes. (Santamouris et al., 2007a, b; Stathopoulou et al., 2008).

Los materiales de la envolvente y su morfología definen el albedo global de una urbe, y por consiguiente su microclima local. (Taha, 1997). Es decir que la envolvente edilicia, desempeña un papel muy importante en el balance térmico urbano. Los materiales que la componen absorben la radiación solar e infrarroja y disipan hacia la atmósfera parte del calor acumulado, a través procesos convectivos y radiativos, con las consecuencias descriptas anteriormente. (Santamouris et al., 2011)

En ciudades ubicadas en zonas áridas o semiáridas, desarrollar estrategias en torno a la eficiencia energética de las envolventes, se presenta como una estrategia viable para mitigar la isla de calor urbana, en especial en ciudades como Mendoza, Argentina.

Determinar el Índice de Reflectancia Solar (SRI) permite seleccionar los revestimientos adecuados para hacer eficiente el consumo de energía de sus edificios y comunidades. Con el fin de recomendar aquellos que presentan mejor desempeño para la consecución de ciudades más sostenibles.

El Índice de Reflectividad Solar se obtiene bajo la norma ASTM E1980-11. Éste es un indicador que incorpora la reflectancia y la emitancia en un único término que representa la temperatura de una superficie horizontal, o de baja pendiente (< 9.5°), de una material opaco expuesto al sol. Permitiendo una comparación directa entre superficies con diferentes propiedades ópticas (albedo y emisividad). 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 ( $T_w$ ) y una negra ( $T_b$ ), bajo condiciones ambientales estándar. Se define como patrón negro a un material con una reflectancia de 0.05 y una emitancia

---

<sup>1</sup> Becaria CONICET

<sup>2</sup> Investigadora CONICET

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.

## OBJETIVO

Determinar la habilidad para mitigar los efectos negativos de la Isla de Calor Urbana de revestimientos verticales texturados disponibles regionalmente, categorizándolos de acuerdo al valor de su Índice de Reflectancia Solar (SRI).

## METODOLOGÍA

### Selección y clasificación de materiales

En éste estudio se analizarán en particular revestimientos verticales, de composición acrílica (SIP) y cementicia (CW), difundidos en el mercado regional.

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, funguicidas y alguicidas en polvo aptos para revestimientos de muros y fachadas.

Para ésta etapa se seleccionaron 8 colores, de acuerdo a la demanda en el mercado local y frecuencia de uso: blanco, marfil, piedra paris, ocre, terracota, gris perla, gris cemento y gris plomo.

Se monitorearon cinco texturas, de granometría y acabado variado, para cada composición. En los revestimientos acrílicos-SIP-(se citan según denominación de fabricante): rulato travertino fino (rf) y grueso (rg), llaneado fino (lf) y grueso (lg), granitex mediano (gm). En los revestimientos cementicios (CW): texturable rulato (tr) y travertino (tt), salpicrate salpic (ss) y planchado (sp), granitex mediano (gm). (Tabla 1).

REVESTIMIENTOS VERTICALES			
COMPOSICIÓN	TEXTURA	COLOR	
ACRÍLICA S.I.P.	Rulato Travertino	Fino	Blanco
		Grueso	Marfil
	Llaneado	Fino	Piedra París
		Grueso	Ocre
	Granitex	Medio	Terracota
			Gris Perla
CEMENTICIA C.W.	Texturable	Rulato	Blanco
		Travertino	Marfil
	Salpicrate	Salpic	Piedra París
		Planchado	Ocre
	Granitex	Medio	Terracota
			Gris Perla
		Verde Hº	
		Gris Plomo	

Tabla 1: Clasificación de muestras, según composición, textura, terminación y color \*<sup>3</sup>.

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 estudiaron 80 muestras de 30x30cm, formadas por tres capas: soporte, aditivo y mortero texturable.

La primera superficie, es una plancha de poliestireno expandido de alta densidad, de 10cm de espesor, que no sólo cumple la función de soporte, sino que esta superficie funciona como el límite adiabático respecto de la conductividad del material hacia la tierra. En segundo lugar, se extiende un mortero de 3mm de espesor que permite una mejor adherencia del revestimiento a la superficie de poliestireno, y por último, una capa del revestimiento texturado y coloreado.

### Registro Térmico y óptico de Muestras

Se obtuvo la temperatura superficial de los materiales, en condiciones ambientales estándar, correspondientes a las 13:00hs del período estival 2011(según Norma ASTM E1980-11). Se registró un flujo de radiación solar de 846.26W/m<sup>2</sup>, temperatura media de aire 33.1°C y 36.4% de humedad relativa. Con velocidades de viento promedio de 1.2 m/s.

<sup>3</sup> Los colores de tabla cumplen un fin ilustrativo, por lo tanto, no corresponden a las tonalidades de los revestimientos originales.

Tanto el albedo como la emisividad, son propiedades que afectan directamente la temperatura superficial de un material, (Bretzy Akbara, 1997; Siegely Howell, 2002), ya que determinan la fracción de energía solar que incide y que se libera. Para medir el grado de emisividad ( $\epsilon$ ) en cada material, se empleó una termocupla tipo T asociado a un data logger tipo hobbo U12, y un termómetro IR Fluke 568 con ajuste de emisividad, según lo establecido por la norma ASTM Standard-2006. (Fig.1).

Se utilizó un albedómetro tipo Kipp&Zonen C3 para determinar el valor de albedo ( $\hat{\alpha}$ ). 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.

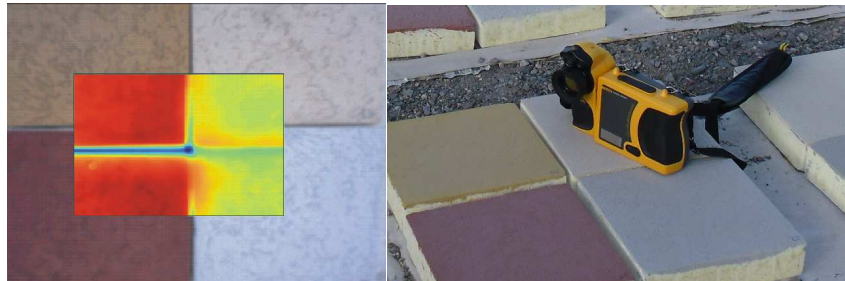


Figura 1: Evaluación térmica y óptica de los materiales en el predio.

#### Propiedades ópticas y físicas

La incorporación de materiales fríos (con alta reflectividad) en las envolventes edilicias resulta una técnica pasiva eficiente para disminuir la demanda de energía para refrigerar en períodos estivales. Mejora el microclima de las zonas urbanas mediante la reducción de temperaturas superficiales y la del aire ambiente. (Santamouris et al., 2011)

Los materiales fríos se caracterizan por:

- Alta reflectancia solar ( $\hat{\alpha}$ ): La reflectancia solar o albedo, mide la capacidad de un material de reflejar la radiación solar incidente y designa la total reflectancia de una superficie, considerando la reflectancia hemisférica de la radiación integrada en el espectro solar; incluyendo reflexión especular y difusa. Es medida en una escala de 0 a 1 (o 0% -100).
- Alta emisión infrarroja ( $\epsilon$ ): Emitancia infrarroja mide la capacidad de una superficie para liberar -a través de radiación infrarroja- el calor absorbido por el material, en relación con un cuerpo negro de igual temperatura.

#### Obtención de Temperaturas Superficiales de Patrones y Muestras.

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

$\alpha$  = absorptancia solar = 1 - reflectancia solar.

$I$  = radiación solar ( $Wm^{-2}$ ).

$\epsilon$  = emisividad térmica.

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

$T_s$  = temperatura superficial estado estacionario (K).

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

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

$T_a$  = temperatura de aire (K).

$T_b$  = temperatura superficial de patrón negra(K).

$T_w$  = temperatura superficial de patrón blanca(K).

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

El índice de Reflectividad Solar se define como:

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

Mediante el uso de la ecuación 1 se calcularon las temperaturas superficiales de los patrones, bajo condiciones ambientales locales. (Tabla 2).

PATRONES	$\hat{\alpha}$	$\epsilon$	$T_s$ (°C)	SRI
NEGRO ( $T_b$ )	0.05	0.9	88.3	0%
BLANCO ( $T_w$ )	0.8	0.9	37.2	100%

Tabla 2: Índice de Reflectividad Solar de superficies patrones.

A través del cálculo de la ecuación 2 se obtuvieron los índices de reflectividad solar (SRI) para los revestimientos acrílicos y cementicios. (Tabla 3).

REV. ACRÍLICO	$\hat{\alpha}$	$\epsilon$	Tprom (°C)	SRI	REV. CEMENTICIO	$\hat{\alpha}$	$\epsilon$	Tprom (°C)	SRI
SIP 01. rf	0.86	0.85	38.6	97.3	CW 41. tr	0.85	0.90	38.3	97.9
SIP 02. rf	0.90	0.90	35.1	100.0	CW 42. tr	0.78	0.85	43.5	87.7
SIP 03. rf	0.81	0.88	41.2	92.3	CW 43. tr	0.72	0.80	48.8	77.4
SIP 04. rf	0.51	0.95	59.2	57.0	CW 44. tr	0.55	0.85	58.5	58.3
SIP 05. rf	0.45	0.95	62.6	50.3	CW 45. tr	0.53	0.93	58.5	58.3
SIP 06. rf	0.60	0.85	55.5	64.2	CW 46. tr	0.64	0.82	53.5	68.1
SIP 07. rf	0.44	0.95	63.2	49.1	CW 47. tr	0.47	0.95	62.0	51.5
SIP 08. rf	0.34	0.95	69.2	37.4	CW 48. tr	0.37	0.95	67.3	41.1
SIP 09. rg	0.79	0.85	43.0	88.7	CW 49. tt	0.57	0.85	57.7	59.9
SIP 10. rg	0.86	0.90	37.8	98.9	CW 50. tt	0.77	0.85	44.5	85.8
SIP 11. rg	0.82	0.90	40.4	93.8	CW 51. tt	0.71	0.90	47.9	79.1
SIP 12. rg	0.47	0.95	62.0	51.5	CW 52. tt	0.63	0.90	53.0	69.1
SIP 13. rg	0.35	0.94	68.8	38.2	CW 53. tt	0.48	0.95	61.0	53.4
SIP 14. rg	0.51	0.95	59.6	56.2	CW 54. tt	0.70	0.90	48.6	77.7
SIP 15. rg	0.42	0.95	64.8	46.0	CW 55. tt	0.54	0.90	58.7	58.0
SIP 16. rg	0.34	0.95	68.9	38.0	CW 56. tt	0.50	0.90	60.9	53.6
SIP 17. lf	0.82	0.80	41.9	90.9	CW 57. ss	0.81	0.85	42.0	90.7
SIP 18. lf	0.53	0.85	60.2	55.0	CW 58. ss	0.80	0.90	42.0	90.7
SIP 19. lf	0.90	0.90	35.4	100.0	CW 59. ss	0.68	0.90	49.5	76.0
SIP 20. lf	0.83	0.90	39.9	94.8	CW 60. ss	0.58	0.95	55.0	65.2
SIP 21. lf	0.43	0.95	63.8	48.0	CW 61. ss	0.60	0.90	54.5	66.2
SIP 22. lf	0.77	0.90	44.1	86.6	CW 62. ss	0.72	0.85	48.1	78.7
SIP 23. lf	0.41	0.95	65.4	44.8	CW 63. ss	0.52	0.90	59.7	56.0
SIP 24. lf	0.26	0.95	73.6	28.7	CW 64. ss	0.39	0.90	67.5	40.7
SIP 25. lg	0.83	0.85	40.4	93.8	CW 65. sp	0.84	0.80	40.4	93.8
SIP 26. lg	0.75	0.85	46.1	82.6	CW 66. sp	0.75	0.85	46.0	82.8
SIP 27. lg	0.58	0.85	56.9	61.5	CW 67. sp	0.63	0.85	53.7	67.8
SIP 28. lg	0.74	0.90	46.1	82.6	CW 68. sp	0.52	0.95	58.9	57.6
SIP 29. lg	0.50	0.95	59.8	55.8	CW 69. sp	0.48	0.95	60.9	53.6
SIP 30. lg	0.74	0.90	45.7	83.4	CW 70. sp	0.67	0.85	50.9	73.2
SIP 31. lg	0.36	0.95	68.2	39.3	CW 71. sp	0.50	0.90	60.9	53.6
SIP 32. lg	0.30	0.95	71.6	32.7	CW 72. sp	0.36	0.95	67.9	39.9
SIP 33. gm	0.86	0.85	38.5	97.5	CW 73. gm	0.82	0.85	41.2	92.3
SIP 34. gm	0.77	0.85	44.5	85.8	CW 74. gm	0.77	0.85	44.7	85.4
SIP 35. gm	0.67	0.85	50.9	73.2	CW 75. gm	0.73	0.90	46.5	81.9
SIP 36. gm	0.72	0.90	47.2	80.5	CW 76. gm	0.53	0.90	59.0	57.4
SIP 37. gm	0.44	0.95	63.4	48.7	CW 77. gm	0.53	0.90	59.1	57.2
SIP 38. gm	0.50	0.92	60.6	54.2	CW 78. gm	0.72	0.80	48.4	78.1
SIP 39. gm	0.39	0.95	66.1	43.4	CW 79. gm	0.49	0.90	61.3	52.9
SIP 40. gm	0.32	0.95	70.2	35.4	CW 80. gm	0.71	0.95	47.3	80.3

Tabla 3: Enumeración de los revestimientos verticales estudiados con sus respectivos códigos asignados, temperaturas superficiales (Ts) en grados Celsius, albedo ( $\hat{\alpha}$ ), emisividad ( $\epsilon$ ), e Índice de Reflectancia Solar (SRI) en porcentajes.

## RESULTADOS

### Máximos niveles de albedo.

Los niveles de albedo en el total de las muestras oscilan entre 0.90 y 0.29. Los materiales que poseen mayor reflectancia solar son los acrílicos -SIP02 y SIP19-, en donde  $\hat{\alpha}$  es igual a 0.90. Los altos valores de albedo de ambos materiales, corresponden con las menores temperaturas registradas en el total de las muestras.

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. (Fig. 2).

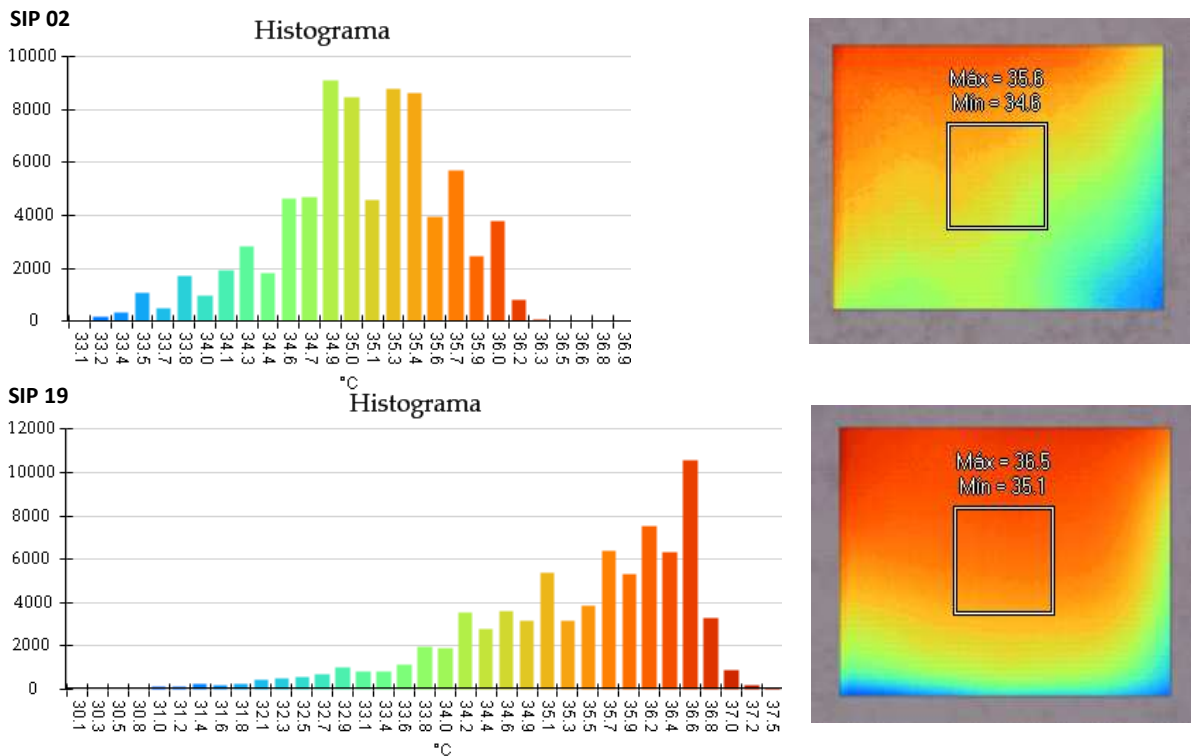


Figura 2: Distribución térmica registrada con cámara IR de revestimientos SIP 02 y SIP 19.

**SRI de Casos Extremos en Revestimientos Acrílicos**

El material que posee mayor habilidad para disminuir las cargas de calentamiento dentro de la ciudad posee alta reflectividad y emisividad (selectivo frío): es el Rulato travertino fino marfil -SIP02- con una temperatura superficial de 35.1°C y un SRI de 100%, en segundo lugar, se ubica el Llanaado fino piedra paris -SIP19- que registra una temperatura superficial de 35.4°C.

Los revestimientos que presentan un comportamiento desfavorable son: el Llanaado fino gris plomo -SIP24- con una temperatura superficial de 73.6°C y un SRI de 28.7% y el Llanaado Grueso gris plomo -SIP32, con un índice de reflectividad solar inferior al 33%. En ambos materiales el valor de albedo no supera el 40%, con una emisividad de 0.95.

Es decir, que entre los casos extremos analizados el revestimiento Rulato marfil, posee valores superiores al 70% en su capacidad para mitigar los efectos de la Isla de calor comparado con el Llanaado gris plomo. Su diferencia térmica es de 38.5°C. (Fig. 3).

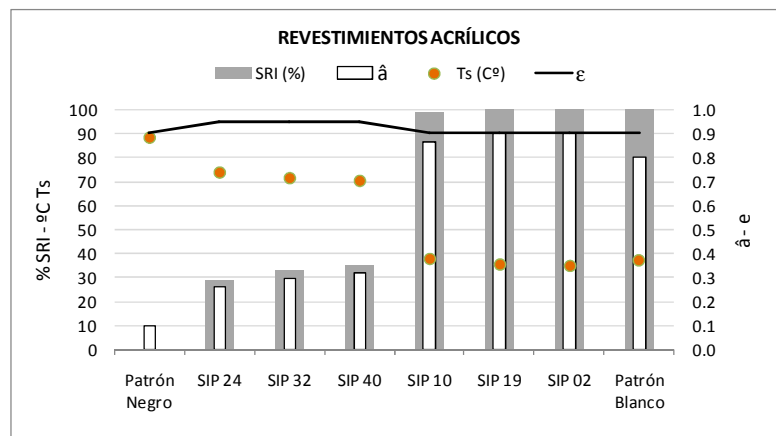


Figura: Índice de Reflectividad Solar de Revestimientos Verticales Acrílicos. (Se graficaron solo los tres materiales que poseen mayor y menor habilidad para disminuir la ICU).

**SRI de Casos Extremos en Revestimientos Cementicios**

En el caso de los materiales de composición cementicia, el revestimiento que eleva menos su temperatura es el Texturable rulato medio blanco -CW41- con un registro de 38.3°C y SRI de 97.9%. El Salpicrate planchado blanco -CW65- se ubica en segundo lugar, con 93.8% de reflectividad solar. El albedo en ambos revestimientos es similar (entre 0.85 y 0.84, respectivamente), en cambio la emisividad en el primer caso resulta mayor ( $\epsilon=0.90$ ) que en el segundo ( $\epsilon=0.80$ ).

Los principales materiales que aumentan las cargas térmicas dentro de la ciudad son: el Texturable travertino -CW48, luego se encuentra el Salpicrate salpic gris plomo-CW64 y por último el Salpicrate planchado gris plomo -CW72- con una temperatura superficial de 67.9°C y un SRI de 39.9%.

En adición entre los casos extremos, el revestimiento vertical cementicio Texturable blanco -CW41- eleva 29.6°C menos que el Salpicrate gris plomo -CW72-; con una diferencia reflectiva del 58%. (Fig. 4).

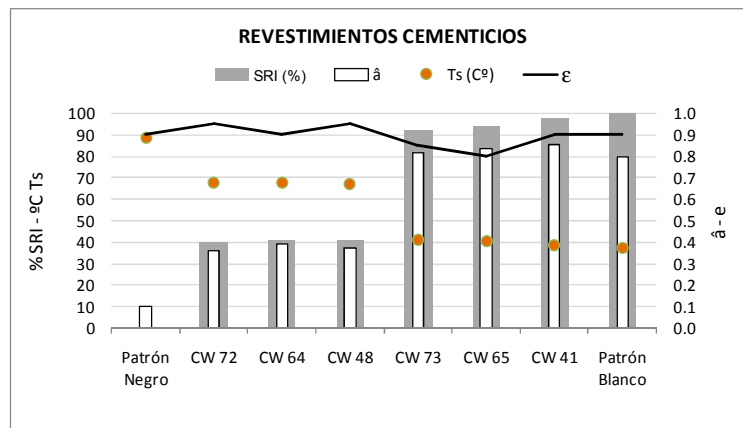


Figura 4: Índice de Reflectividad Solar de Revestimientos Verticales Cementicios. (Se graficaron solo los tres materiales que poseen mayor y menor habilidad para disminuir la ICU).

**SRI de Revestimientos Acrílicos según Clasificación.**

-Variable Color: En los colores blanco, verde hormigón la textura Rulato fino (rf) y la Granitex Medio (gm), alcanzan un mejor comportamiento; con promedios de SRI de 97.4% en el blanco (SIP1-SIP33) y de 46.2% en la tonalidad verde (SIP07-SIP39).

En los colores piedra paris, ocre y gris perla, la textura Llana fina (lf) posee mayor habilidad para disminuir las cargas de calentamiento. Con promedios para los tres revestimientos de 93.8%. (SIP19-SIP20-SIP22).

En la alternativa terracota el -SIP 29- Llana gruesa, es el material más frío, con un SRI de 55.8%. Mientras que el que eleva más su temperatura es el Rulato travertino -SIP13- con 38.2% de reflectividad solar. (Fig.5)

El material que presenta mayor dispersión de la línea de tendencia es el Llana fina marfil -SIP 18-. Dentro de las tonalidades claras, es el revestimiento que eleva las cargas térmicas superficiales. Su temperatura es de 60.2°C, y posee un índice de reflectividad solar notablemente menor que en las restantes configuraciones de igual color. (SRI= 55%).

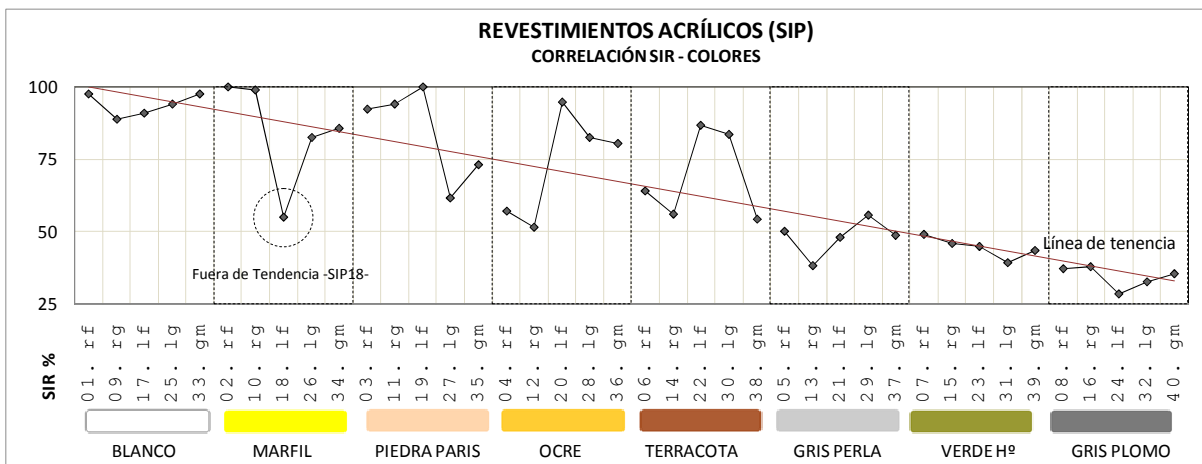


Figura 5: Índice de Reflectancia Solar de Revestimientos Acrílicos según clasificación de color para cada textura.

Es decir, que dentro de la textura Llana fina, el comportamiento del marfil -SIP 18- resulta ser notablemente desfavorable en comparación a las muestras de igual textura y terminación de color piedra paris -SIP 19-, ocre -SIP 20- y gris perla -SIP 22-. Las diferencias de reflectividad solar alcanzan el 45%, 39.8% y 31.6% respectivamente. (Fig. 6).

Estos resultados serán validados en la campaña de mediciones a desarrollarse en el verano 2011-2012.

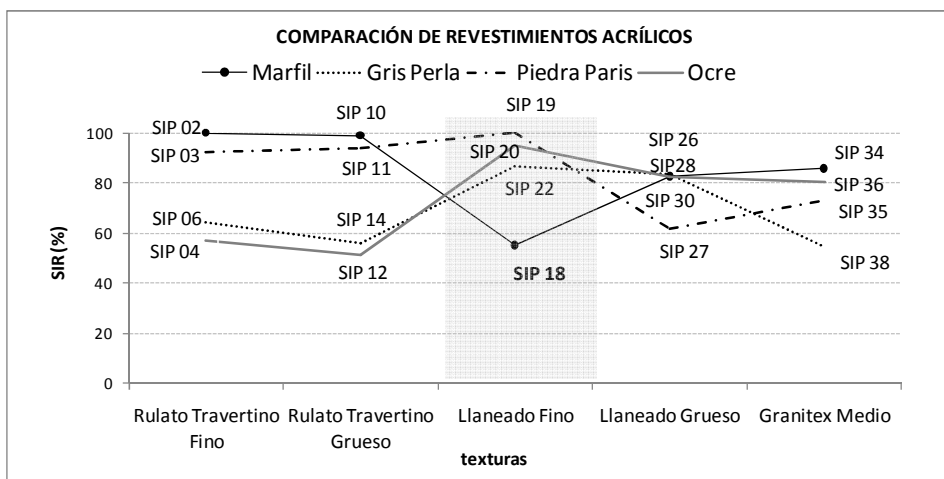


Figura 6: Revestimientos Llameado fino marfil, gris perla y piedra paris y su habilidad para disminuir las cargas de enfriamiento.

-Variable Textura: En la figura 7, se distinguen dos configuraciones según porcentaje de reflectancia solar. En el primer grupo corresponden las texturas: Rulato Travertino fino, grueso y Granitex medio; y el segundo está compuesto por la textura llameada fina y gruesa. En el primer caso, los rangos de SRI disminuyen a medida que se oscurecen las tonalidades, es decir, que se denota una intrínseca relación entre la temperatura y la variación de color. En cambio, en las texturas llameadas las variaciones de reflectancia resultan independientes a las tonalidades. Tal es el caso de los materiales llameados -SIP 18 y SIP 27, éstos materiales claros registran niveles de SRI inferiores a alternativas más oscuras.

Al modificar el color de la textura Rulato travertino fino, se observa que el color marfil -SIP02- alcanza una temperatura de 35.1°C con 100% de SRI, mientras que la alternativa gris plomo -SIP08-, asciende la temperatura hasta los 69.2°C. Es decir, que se relevaron diferencias de reflectividad solar superiores al 60%.

Valores similares se detectan en la opción gruesa, en donde se observaron diferencia térmica superficial de 31.1°C, al comparar el material más frío de tonalidad marfil -SIP10-, con el color que eleva más la temperatura -SIP16- (gris plomo).

En lo revestimientos de color blanco, la textura Granitex Medio -SIP33-, presenta el comportamiento más eficiente, con un porcentaje superior al 97% de reflectancia solar.

En el segundo grupo, conformado por los Llameados, la terminación fina de color piedra paris -SIP19- es la que eleva menos su temperatura, alcanzando un SRI 100%. Mientras que el color blanco, muestra un mejor desempeño para disminuir los efectos negativos de ICU, en el acabado grueso -SIP 25-(SRI=93.8%). (Fig.7)

Al analizar las cinco texturas acrílicas, el revestimiento Llameado fino (lf), es el acabado acrílico que alcanza mayores niveles de reflectividad solar promedio para todos los colores. (SRI promedio=68.6%).

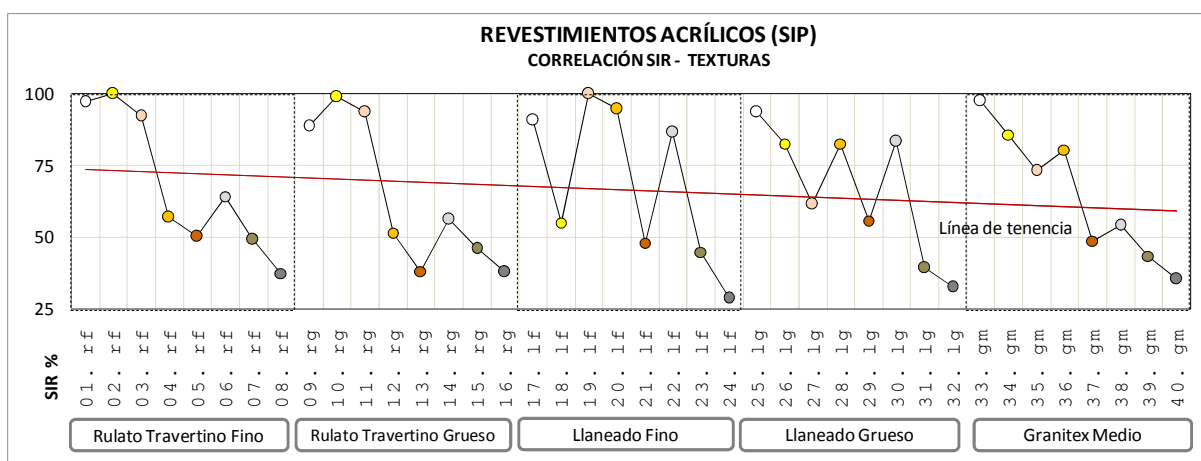


Figura 7: Índice de Reflectancia Solar de Revestimientos Acrílicos según clasificación de textura para cada color.

**SRI de Revestimientos Cementicios según Clasificación.**

- Variable Color: En el caso de los revestimientos cementicios las tonalidades blancas y marfiles, prueban la habilidad de los materiales claros para disminuir las cargas de enfriamiento. Alcanzando un índice de reflexión solar promedio del 86%, para ambos colores, en todas las texturas.

Al modificar las características de textura y terminación del material, la pigmentación marfil, y verde hormigón, son las que muestran mayor estabilidad térmica.

Se detectan principalmente dos materiales que se alejan de la línea de tendencia general: el Texturable travertino medio (tt) blanco -CW49-, y el Granitex Medio (gm) -CW80.

El revestimiento -CW49-, posee un SRI inferior al 60%, con una temperatura superficial de 57.7°C. Mientras que el promedio general de reflectividad de los restantes cementicios blancos es de 93.7%. El material -CW80-, disminuye notablemente su temperatura (47.3°C), en relación a las otras texturas. Su SRI alcanza 80.3%, debido a que posee un albedo superior al 70%, con una emisividad de 0.95. (Fig. 8).

Cabe aclarar que al igual que en el caso Llaneado fino marfil -SIP 18 correspondiente a los revestimientos acrílicos, estos resultados atípicos serán corroborados en la campaña de mediciones 2011-2012.

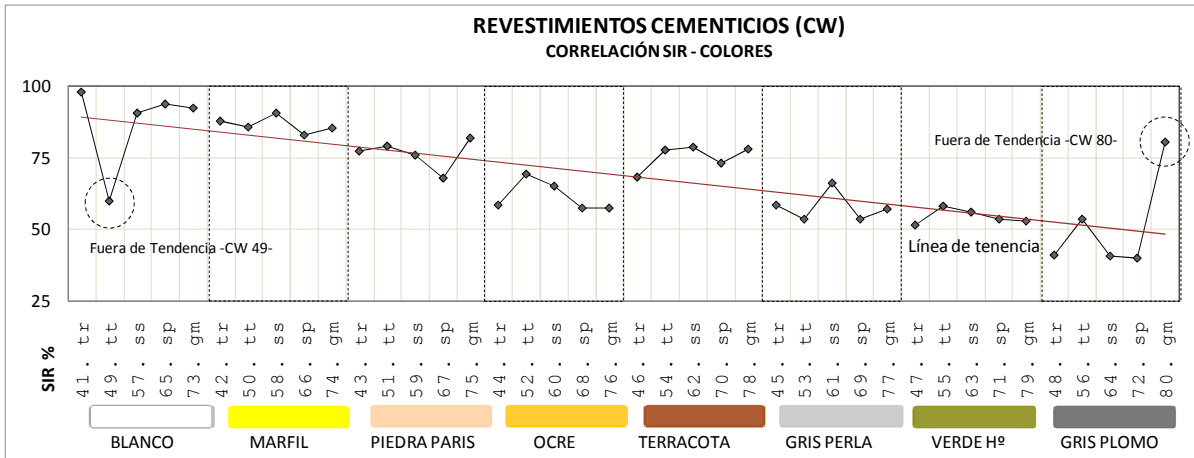


Figura 8: Índice de Reflectancia Solar de Revestimientos Cementicios según clasificación de color para cada textura.

- Variable Terminación: El Granitex medio (gm) es la textura cementicia que posee mayor habilidad para mitigar los efectos negativos de la ICU, con un SRI promedio en todas las tonalidades de 73%.

En las texturas: Rulato medio, Salpicrate salpic y planchado; los valores de SRI disminuyen a medida que se oscurecen las tonalidades. En cambio en Travertino y Granitex medio, ésta variación térmica no se corresponden a la variación de color.

En las tonalidades marfil, piedra paris, ocre, terracota, gris perla, verde hormigón y gris plomo; la textura Salpicrate salpic, elevan menos la temperatura que la de acabado planchado. Al contrastar el revestimiento Salpicrate salpic terracota -CW61- con el Salpicrate planchado terracota -CW69-, el material salpic, es el más frío. Las diferencias son: 6.4°C y 12.5% de SRI. (Fig. 9).

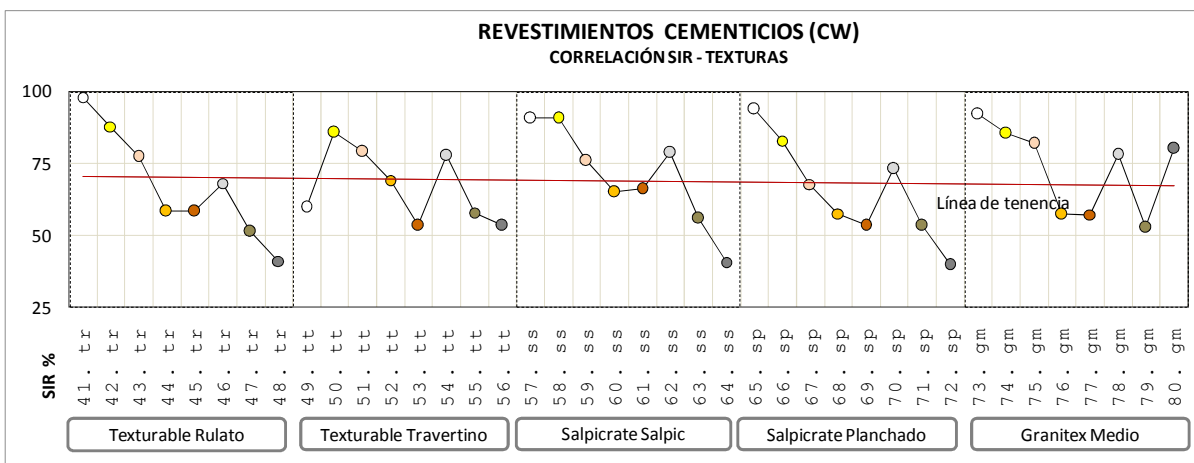


Figura 9: Índice de Reflectancia Solar de Revestimientos Cementicios según clasificación de textura para cada color.

**SRI del Revestimiento Granitex Medio. Composición Acrílica y Cementicia:**

En las tonalidades claras (blanco, marfil y ocre), el revestimiento acrílico (SIP) muestran mejor desempeño térmico que el cementicio (CW). Por ejemplo: el material acrílico ocre -SIP36-, eleva 11.8°K menos que el cementicio ocre -CW 76. El de composición acrílica posee un Índice de Reflectancia Solar de 77%, mientras que el cementicio alcanza el 51%. En los colores piedra paris, terracota gris perla, verde hormigón y gris plomo, que son tonalidades predominantemente de inferiores albedos, esta tendencia se invierte. Es decir, que los materiales cementicios de pigmentaciones oscuras, posee mayores prestaciones



para mitigar los efectos de la ICU, que los acrílicos de igual tonalidad. Tal es el caso del gris plomo que en la composición cementicia -CW 80-, alcanza 77% de energía reflejada, y el acrílico -SIP 40-, el 26 %.(Fig. 10).

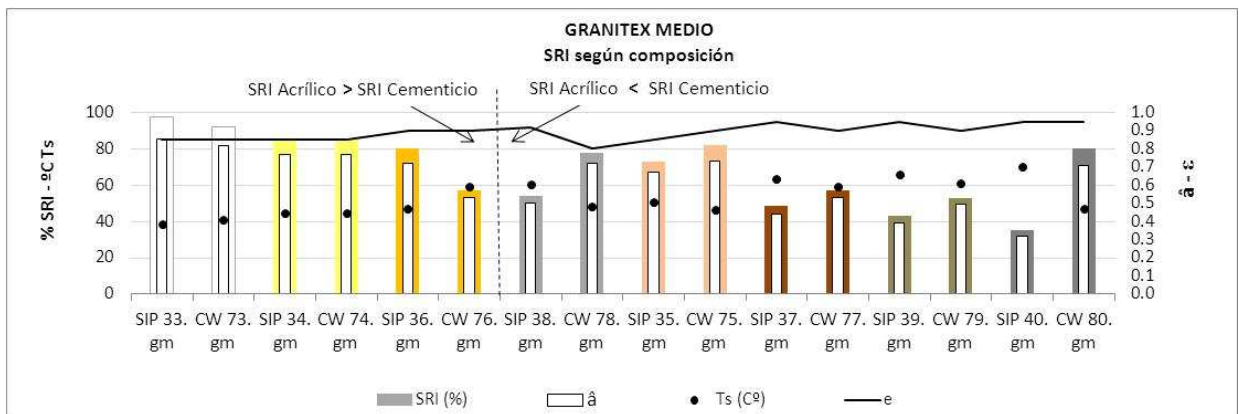


Figura 10: Comportamiento de la textura Granitex medio, según color para cada composición.

### SRI según Composición

El 43% de los materiales acrílicos posee entre el 100-80% de habilidad para mitigar los efectos negativos de ICU y tan solo 28% de los cementicios integran éste rango. Dentro de los porcentajes intermedios, se observa que en ambas composiciones la mayor frecuencia está situado en el rango de 60-40% de reflectividad solar; para el acrílico es de 35% y en el cementicio alcanza el 40%. Mientras que el 15% de los acrílicos y el 3% de los cementicio, posee índices de reflectividad inferiores al 40%. (Fig. 11).

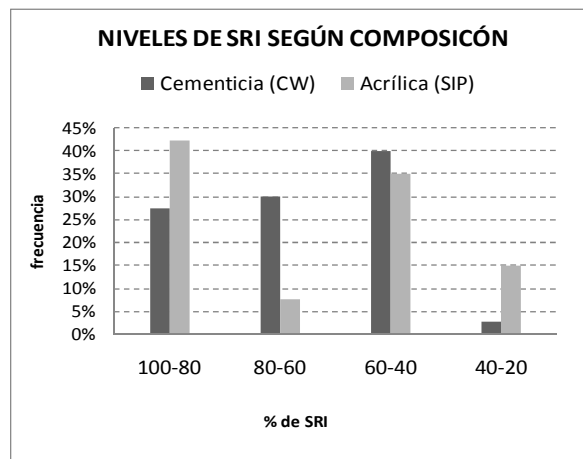


Figura 11: Índice de Reflectividad Solar, según Composición del Revestimiento.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman la importancia de catalogar térmicamente los materiales disponibles regionalmente para la resolución de las envolventes a modo de transferir esta información a los responsables del desarrollo del hábitat en nuestra región. Los materiales que componen los espacios urbanos absorben la radiación solar e infrarroja y disipan hacia la atmósfera parte del calor acumulado. Es decir que el rol de la envolvente urbana desempeña un papel decisivo en la reducción de las ganancias térmicas y el sobrecalentamiento de una ciudad.

Las prestaciones térmicas de los revestimientos verticales se deben asociar al comportamiento simultáneo de la textura, color y composición.

Al analizar la variable textura, se evidencia que en las configuraciones acrílicas el Llaneado Fino es el material con mayor habilidad para disminuir las cargas de calentamiento, alcanzando un promedio de SRI de 68%.

En cambio, en las texturas cementicias la mayor eficiencia es alcanzada por el Granitex Media ya que posee un valor de SRI superior al 73 % promedio para los ocho colores estudiados.

El color denota un notable impacto en la temperatura superficial de los revestimientos. Entre la tonalidades acrílicas blanca y gris plomo, se registraron diferencias de temperatura que superan los 26°C y alcanzan niveles de reflectividad solar superiores al 70% de diferencia. Se debe prestar especial atención en el material acrílico Llaneada fino, ya que el color marfil resulta ser muy desfavorable. Para ésta texturas llaneadas, la elección de los colores piedra parís y gris perla resulta ser la más adecuada.

Con respecto a los revestimientos cementicios, el Texturable travertino en color blanco, posee 60% menos de reflectividad solar que las restantes texturas de idéntico color, es por ello que no se recomienda aplicar en las fachadas de la ciudad. Dentro de los colores oscuros el material gris plomo granítico medio, presenta gran eficiencia para disminuir las cargas térmicas, en comparación a las otras texturas.

Respecto a la composición, el revestimiento Granitex Medio acrílico posee mayor capacidad térmica que el cementicio en las tonalidades claras (blanco, marfil y terracota). El hecho inverso se observa en las tonalidades oscuras (gris perla y plomo, piedra paris, terracota y verde) dónde la composición cementicia resulta más eficiente respecto a la acrílica.

En futuras etapas, se estudiará el comportamiento térmico de los materiales en el periodo invernal. Con ello se pretende obtener una visión global del comportamiento de los materiales, debido a que la temática abarca tanto los requerimientos térmicos de verano como de invierno. La determinación del balance de los consumos energéticos anuales de estructuras urbanas y edificaciones, es el desafío a afrontar en próximas investigaciones. Así como también establecer en correspondencia con los resultados las factibilidades de uso y costo.

## REFERENCIAS

- ASTM Standard E 1980-11. (2011). Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.
- Bretz, Sarah E., Akbari, Hashem. (1997). Long-term performance of high albedo roof coatings. *Energy and Buildings* 25, 159-167.
- 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.
- Santamouris M., Paraponiaris K., Mihalakakou G. (2007a). Estimating the ecological footprints of the heat island effect. *Athens. Greece Climate Change*. 80, 265-276.
- Santamouris M., Pavlou K., Synnefa A., Niachou K., Kolokotsa D. (2007b). Recent progress on passive cooling techniques. Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households. *Energy and Buildings*. 39, 859-866.
- Siegel R., Howell J. (2002). *Thermal Radiation Heat Transfer*, 4<sup>o</sup> edition. Taylor and Francis, New York.
- Stathopoulou E., Mihalakakou G., Santamouris M., Bagiorgas H.S. (2008). Impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *Journal of Earth System Science*. 117 (3), 227-236.
- Oke T.R., Johnson D.G., Steyn D.G., Watson I.D. (1991). Simulation of surface urban heat island under 'ideal' conditions at night - part 2: diagnosis and causation. *Boundary-Layer Meteorology*. 56, 339-358.
- Taha H. (1997). Urban Climates and Heat Islands: Areal, Evapotranspiration and Anthropogenic Heat. *Energy Build.* 25, 99-103.

## ABSTRACT:

The urban temperature increase has a direct effect on energy consumption and the urban thermal comfort. This study evaluates the potential for passive cooling of 80 coatings for facades of acrylic and cement composition, in tones and textures mostly spread in the local built park. The study was carried out by the determination of solar reflectance and surface temperature with respect to a black and white pattern, defined as Solar Reflectance Index (SRI). The material which has the most efficient behavior is Fine Travertine Rulato Ivory Acrylic (SRI = 100%, Temp. Sup = 35.1 ° C), whereas the most inefficient is the Fine Llaneado Dark Gray Acrylic (SRI = 28.7%, Temp. Area = 73.6 ° C). However there are intermediate options obtained combining the effect of material composition, color and texture. This situation shows that it is possible to mitigate the heat island effect from an appropriate selection of vertical cladding.

**Key words:** solar reflectance index, vertical coating, urban heat island, mitigation, bioclimatic urban design.