

ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO URBANO. ÍNDICE DE REFLECTANCIA SOLAR Y RELACIÓN COSTO- BENEFICIO EN PINTURAS PARA FACHADAS.N. Alchapar¹, E. Correa², G. Lesino²Laboratorio 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*Recibido: 10/08/12; Aceptado: 05/10/12*

RESUMEN: Las superficies urbanas presentan valores de albedo menores que el medio natural, esto trae como consecuencia una mayor absorción de energía y de almacenamiento de calor; este efecto contribuye a la formación del fenómeno de isla de calor urbana. Una estrategia de enfriamiento pasivo que resulta efectiva y de bajo costo es la aplicación de pinturas reflectivas sobre las superficies de la envolvente edilicia. El objeto de éste estudio es seleccionar la opción adecuada para reducir el consumo anual de energía asociado a las cargas de enfriamiento en relación a los costos de inversión inicial que cada alternativa conlleva. Para ello se evaluó el potencial de reducción de la carga térmica de 15 muestras de pinturas para fachadas de composición látex acrílico e impermeables de diferentes costos de inversión inicial por litro en comparación al comportamiento de una pintura atérmica de amplia difusión en el parque edilicio de la ciudad de Mendoza, Argentina. El estudio se llevó a cabo mediante la determinación de reflectancia solar y la temperatura superficial, con respecto a un patrón blanco y uno negro, definido como Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980. Los resultados demuestran que para un mismo tipo y color de pintura se registraron diferencias de temperatura superficial entre los casos evaluados del orden de 6 °K para pinturas impermeables y de 5°K para las composiciones acrílicas. Además se constata que el costo económico no es un indicador proporcional al potencial de disminución de la carga térmica que presenta la pintura, ya que el recubrimiento de mayor nivel de SRI pertenece a una gama de precio estándar.

Palabras clave: comportamiento térmico, pinturas para exteriores, índice de reflectancia solar, relación costo-beneficio.

INTRODUCCIÓN

Las áreas urbanas poseen condiciones climáticas particulares resultantes de complejas interrelaciones entre las variables que intervienen en los intercambios de masa y energía de los espacios, donde numerosos factores entran en juego. Las ciudades están constituidas por cañones urbanos de diversa configuración; estas estructuras dificultan el flujo libre de aire disminuyendo la ventilación y el factor de visión de cielo (SVF). Las superficies urbanas presentan valores de albedo menores que el medio natural, esto trae como consecuencia una mayor absorción de energía y de almacenamiento de calor. Al alterar el balance térmico en un recinto urbano su temperatura aumenta en relación a las temperaturas del medio rural circundante, éste fenómeno se denomina isla de calor urbana. (Givoni, 1994)

Para reducir la intensidad de las islas de calor, una estrategia de mitigación efectiva es trabajar sobre el diseño del medio ambiente exterior, por ejemplo mediante el incremento de la reflectancia solar de materiales de construcción presentes en la envolvente. Es decir, que trabajar sobre las propiedades termo-físicas de los materiales empleados en paramentos horizontales y verticales (techos, pavimentos y fachadas) es un camino viable para disminuir las ganancias de calor dentro de una ciudad. (Santamouris, 2006).

El enfriamiento radiativo es resultado del balance entre la energía emitida y recibida por una superficie. Esta superficie recibe energía solar en una longitud de onda corta (ultravioleta, visible, infrarrojo cercano) y radiación atmosférica en longitudes de onda larga, correspondiente a la radiación infrarroja media y lejana. Una fracción variable de la radiación recibida es absorbida mientras que la radiación restante es reflejada. (Fig. 1). Un cuerpo puede emitir un máximo energía equivalente a la de una superficie negra con la misma temperatura (288.1 °K gris oscuro, 303.1 °K gris clara en la figura. 1). Si la energía emitida es superior a la energía absorbida, aparece el fenómeno conocido como enfriamiento radiativo pasivo. Por ejemplo, la energía global recibida en la superficie terrestre (durante el ciclo diurno) alcanza los 1290Wm⁻² en una atmósfera estándar para una temperatura de 288.1 °K. De la totalidad de la radiación, el primer componente son los rayos UV (2.5%), seguido por la visible (41.4%) y el infrarrojo cercano (33.2%). Por ciclo diurno con 288.1°K de temperatura ambiente, la emisión infrarroja (IR) del cielo (de media y larga longitud) representa el 22.9% de la energía que se recibe (es decir, 295.6Wm⁻²). Para los períodos nocturnos, esta radiación corresponde a 100% de la energía recibida. En la Fig. 1, se observa que el déficit esencial de emisividad aparece en la banda denominada "ventana atmosférica IR" que corresponde a 10 µm. El espectro emitido de un cuerpo negro a temperatura ambiente (Ta) tiene su máximo de energía en esta longitud de

¹ Becaria CONICET² Investigadora CONICET

onda. De éste modo un material puede disipar grandes cantidades de energía por transferencia de radiación entre la fuente de calor (el material radiativo a la temperatura T_a) hacia una fuente fría como el cielo cuya temperatura T_{sky} cumple ($T_{sky} < T_a$). Por ejemplo para una temperatura ambiente $T_a = 288.1^\circ\text{C}$, un cuerpo negro a la misma temperatura puede emitir 388.3Wm^{-2} . Esta superficie dispuesta frente a un cielo despejado disipará una potencia de unos 93Wm^{-2} en forma de radiación IR, permitiendo que se enfríe sin energía añadida (para un temperatura superficial de 298.1°C y $T_a = 288.1^\circ\text{C}$, la energía disipada para el cuerpo negro es de 150Wm^{-2}). Este fenómeno pone de manifiesto la magnitud y significancia del enfriamiento radiativo pasivo tanto durante el ciclo diurno como nocturno. (Muselli, 2010) (Fig. 1)

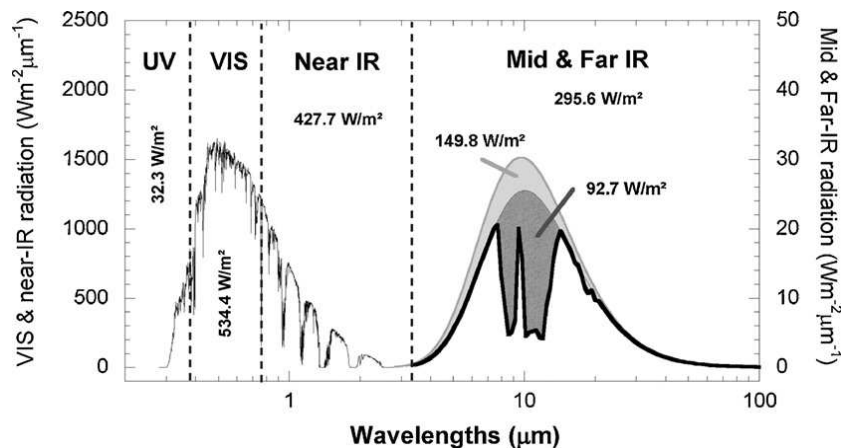


Fig. 1: Radiación solar (línea fina); espectro IR que recibe la superficie de la Tierra (línea gruesa); emisión de cuerpo negro a $288,1^\circ\text{K}$ en la ventana del cielo (área gris oscura; emisión de cuerpo negro a $303,1^\circ\text{K}$ (área gris clara). Cada componente se expresa en Wm^{-2} . (Muselli M., 2010)

Durante el día, los materiales que componen las superficies exteriores de la envolvente edilicia son responsables de gran parte del incremento de temperatura de un área urbana. Esto afecta tanto la condición diurna de enfriamiento, como se destacó anteriormente, como la nocturna debido a la combinación entre el almacenamiento térmico de radiación solar y las propiedades ópticas de los materiales. Al disminuir el porcentaje de radiación solar absorbida, la temperatura superficial de los elementos constructivos exteriores puede ser reducida y por consiguiente las cargas de calor minimizadas. La solución más sencilla para reducir la absorción de radiación solar es manejar el albedo de los materiales y de ésta forma conservar las superficies más frescas. Además, como los intercambios radiativos de onda larga son importantes dentro de un cañón urbano es pertinente el uso de materiales con alta emisividad. Como resultado éstos materiales son buenos emisores de energía de onda larga y liberan la energía que ha sido absorbida como radiación de onda corta. Es decir, que sus temperaturas superficiales son menores y contribuyen a la reducción de la temperatura ambiente a través de mecanismos convectivos. (Santamouris et al., 2011)

Numerosas investigaciones que tratan sobre el aprovechamiento del enfriamiento radiativo urbano intentan desarrollar materiales especiales con el objetivo de maximizar el enfriamiento derivado de ésta fuente. (Cheng y Givoni 2005; Kai et al. 2010; Doya et al., 2012; Synnefa et al., 2007; Karlessi et al., 2009; Dornelles et al., 2011). El componente de la edificación más recomendado para utilizar como superficie radiadora es el techo, ya que resulta ser la orientación más ventajosa para “ver” el cielo. (Givoni, 1994). Los componentes verticales de la envolvente edilicia (paredes) presentan ángulos sólidos de visión del cielo más reducidos que las cubiertas, es por ello que expuestos a la radiación solar presentan menor carga térmica. Sin embargo, la superficie cubierta por las paredes resulta significativa en relación al área superficial total de la volumetría urbana. De ello deriva la hipótesis de que optimizar su comportamiento térmico permitirá mejorar las condiciones de confort de los espacios exteriores. Además, existe un menor desarrollo en éste campo en relación a la producción científica realizada con pinturas para techos, por eso en ésta investigación se estudiarán las pinturas para fachadas.

De lo discutido previamente podemos afirmar que la aplicación de pinturas reflectivas sobre las superficies de la envolvente edilicia es una estrategia de enfriamiento pasivo que resulta efectiva y de bajo costo. En este contexto, el objetivo de éste estudio es realizar un análisis comparativo entre la relación costo beneficio de alternativas de pintura para fachadas de composiciones y costos económicos variados. Para ello se determina el potencial de disminución de la carga térmica de pinturas látex de composición acrílica e impermeable para fachadas en comparación al comportamiento de una pintura atérmica difundida en el mercado local. Mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) bajo la norma ASTM E1980 se estimara el funcionamiento térmico en comparación a los costos económicos de inversión inicial que cada alternativa requiere.

MATERIAL Y MÉTODO

Selección y clasificación de muestras

Se confeccionaron 16 muestras de pintura látex para fachadas sobre una base de hormigón de 40×20 cm, de marcas y costos ampliamente difundidos en el mercado local. Según especificación del fabricante, se preparó la superficie a pintar con una

capa de enduido para exteriores y sellador fijador previamente lijado, luego se dispusieron 3 capas de cada una de las pinturas látex a estudiar. (Fig. 2)

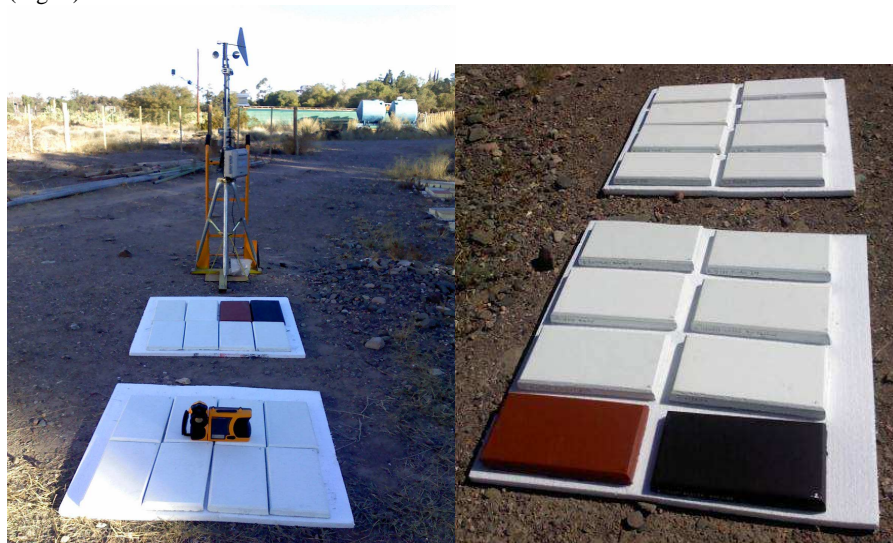


Fig.2: Estación metereológica móvil, Cámara IR y muestras de pintura para fachadas dispuestas en el predio.

Las muestras se ubicaron sobre una superficie horizontal de poliestireno expandido de 7 cm. de espesor, dentro de un predio del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas (32°53'45" de latitud sur y 68°52'28" de longitud oeste). Se seleccionaron pinturas látex para fachadas en tres composiciones disponibles en el mercado local: acrílica (ac), impermeable (im) y atérmica (at) de diversos costos disponibles en el mercado regional.

La pintura látex acrílica (ac) es una emulsión estireno acrílico. Compuesta por resinas en dispersión acuosa, dióxido de titanio y pigmentos entonadores.

La pintura látex impermeable (im) es un emulsión acrílica elastomérica que proporciona flexibilidad y resistencia al recubrimiento para impedir las fisuras causadas por los cambios de temperatura y humedad.

La pintura atérmica (at) es un recubrimiento de alta durabilidad formulado a base de polímeros acrílicos y componentes reflectivos destinado a proteger térmicamente de la radiación solar y de los rayos UV.

En Tabla 1, se describen los costos de inversión inicial por litro de las muestras de acuerdo a su composición y color:

GAMA	COLOR	COMPOSICIÓN			COD.	COSTO DE INVERSIÓN (por litro)
		ac.	im.	at.		
Gama Económica	blanco	*			P13	\$ 23
	blanco	*			P12	\$ 30
	negro	*			P02	\$ 35
	blanco		*		P14	\$ 38
Gama Estándar	terracota		*		P16	\$ 40
	blanco		*		P10	\$ 40
	blanco		*		P15	\$ 40
	blanco		*		P09	\$ 41
	blanco		*		P07	\$ 43
	blanco	*			P11	\$ 47
	blanco		*		P06	\$ 47
	blanco		*		P03	\$ 47
Alta Gama	blanco		*		P08	\$ 50
	blanco		*		P04	\$ 50
	blanco			*	P01	\$ 60
	blanco		*		P05	\$ 65

Tabla 1: Clasificación de pinturas evaluadas según gama; costo inicial (\$); color y composición (ac: acrílica; im:impermeable; at: atérmica).

Registros Ópticos y Térmicos de las Muestras

El monitoreo se realizó durante el mes de febrero y marzo del año 2012. De la serie de mediciones los datos que se reportan en este estudio corresponden al 18 de marzo, bajo condiciones ambientales locales estándares.

Mediante el uso de la estación meteorológica móvil (EMM) se registró a las 13.00 hs un flujo de radiación solar (I) de 849 W/m², temperatura media de aire (Ta) de 304°K, humedad relativa de 36.3% y velocidad de viento (v) de 1.4 m/s. (Fig.3)

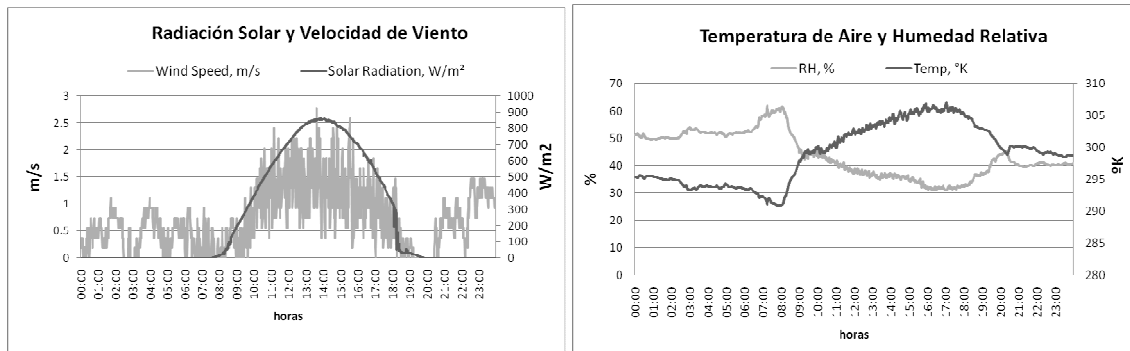


Fig.3: Radiación solar, velocidad de viento, temperatura del aire y humedad correspondientes al día evaluado.

Para el calcular el Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM E1980-11, se midieron las siguientes variables: albedo ($\hat{\alpha}$), emisividad (ϵ), velocidad de viento (v) y temperatura superficial (T_s), correspondiente a las 13.00hs.

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 y Akbari, 2002). 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. (Avdelidis y Moropoulou, 2003)

Se calculó el valor del albedo ($\hat{\alpha}$), mediante la utilización de un albedómetro tipo Kipp & Zonen CMA11. Éste instrumento posee un rango espectral de 285 a 2800 μm , con una irradiancia solar máxima de 4000 W/m² (Kipp & Zonen Product Catalogue, 2012). 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 pintura.

Para estimar la emisividad (ϵ) se empleó un sensor de temperatura de termo cupla 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 termo cupla con la del termómetro IR (ASTM E1933-99a, 2006).

El coeficiente global de convección (h_c) se incrementa con la velocidad de viento, se calculó de acuerdo a la ecuación 1 (Duffie y Beckman, 1991):

$$h_c = 2.8 + 3 v; \text{ para velocidad de viento } < 5 \text{ m/s} \quad (1)$$

Donde,

v = velocidad de viento. m/seg.

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

Los comportamientos térmicos superficiales (T_s) se registraron con la cámara IR Fluke Ti 55, la cual 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. Paralelamente se midieron y contrastaron las temperaturas superficiales de cada material con termocuplas tipo T incorporadas a dataloggers LASCAR EL-USB-TC, sensando cada minuto. Esto se hizo para verificar el comportamiento térmico de aquellos casos en que los materiales pudiesen comportarse como selectivos.

Determinación de Índice de Reflectancia Solar

Se calcula el Índice de Reflectancia Solar (SRI) de las pinturas seleccionadas mediante la medida de su reflectividad solar, su emisividad térmica y su comportamiento térmico superficial. Se obtiene éste indicador bajo la norma ASTM E1980-11.

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, cuyo; y el patrón blanco equivale 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 (T_s) se obtiene a partir de:

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

Dónde:

- α = absortancia solar= 1- reflectancia solar.
- ϵ = emisividad térmica
- T_s = temp. superficial en estado estacionario. K.
- h_c = coeficiente convectivo. $W.m^{-2}.K^{-1}$
- T_b = temperatura superficial patrón negro. K.
- T_w = temperatura superficial patrón blanco. K.

El índice de Reflectividad Solar se define como:

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w} \quad (3)$$

Se calcularon las temperaturas superficiales de los patrones, utilizando la ecuación 2. (Tabla 2).

PATRONES	$\hat{\alpha}$	ϵ	T_s (°K)	SRI (%)
Negro (T_b)	0.05	0.90	304	0
Blanco (T_w)	0.80	0.90	359	100

Tabla 2: Índice de Reflectividad Solar de superficies patrones iniciales.

A través del cálculo de la ecuación 3 se obtuvieron los índices de reflectividad solar (SRI) del total de las muestras de pinturas. (Tabla 3).

COD	COLOR	$\hat{\alpha}$	ϵ	T_s (K°)	SRI (%)
PIN 01 - at.	blanco	0.79	0.93	311	88
PIN 02 - ac.	negro	0.30	0.98	354	8
PIN 03 -im.	blanco	0.81	0.95	310	89
PIN 04 - im.	blanco	0.82	0.95	309	90
PIN 05 - im.	blanco	0.83	0.95	309	91
PIN 06 - im.	blanco	0.81	0.90	310	88
PIN 07 - im.	blanco	0.82	0.90	310	89
PIN 08 - im.	blanco	0.78	0.95	312	86
PIN 09 - im.	blanco	0.80	0.93	311	87
PIN 10 - im	blanco	0.80	0.93	311	87
PIN 11 - ac.	blanco	0.79	0.93	312	86
PIN 12 - ac.	blanco	0.79	0.90	312	86
PIN 13 - ac.	blanco	0.84	0.90	307	95
PIN 14 - im.	blanco	0.82	0.90	308	93

PIN 15 - im.	blanco	0.83	0.90	305	99
PIN 16 - im.	terracota	0.45	0.95	349	18

Tabla 3: Enumeración de las pinturas látex para fachadas estudiadas, con sus respectivos códigos asignados; composición (ac: acrílica; im: impermeable; at: atérmica); color; albedo ($\hat{\alpha}$); emisividad (ϵ); temperatura superficial (T_s) en grados Kelvin; e Índices de Reflectancia Solar (SRI) en porcentajes.

RESULTADOS

Los resultados serán explicados de acuerdo al criterio de clasificación de pinturas para fachadas que se expresa en la Tabla 1. En la primera parte se analiza el desempeño térmico mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar de acuerdo a la composición y color de cada pintura.

En la segunda parte, con el propósito de profundizar los resultados derivados de la investigación, se analizan el costo económico de inversión de cada pintura, en relación a las prestaciones térmicas que brinda cada alternativa.

Índice de Reflectancia Solar de Casos Extremos

Del total de las muestras estudiadas la pintura impermeable - P15- es el material que registra el comportamiento más eficiente. Alcanza el mayor nivel de reflectividad solar (SRI=99%) y una temperatura superficial de 305°K. Registrando valores de $\hat{\alpha}$ =0.83 y ϵ =0.90. En segundo y tercer lugar se ubican la pinturas acrílica -P13- con un SRI=95% y un T_s =307°K y el revestimiento impermeable -P14- (SRI=93%, T_s =308°K).

Las pinturas más desfavorables son en orden descendente: pintura acrílica negra -P02- con una T_s = 354°K y un SRI de 8%, en segundo lugar la impermeable terracota -P16- (SRI=18%; T_s =349°K). Dentro de las tonalidades blancas las pinturas con menor índice de reflectividad solar (SRI) son la impermeable -P08-, y las acrílicas -P12-P11- con idénticos valores de SRI= 86% y de T_s = 312°K. (Tabla 3).

Sintetizando, los casos extremos analizados (P15-P02) presentan diferencias superiores al 91% en su capacidad para mitigar los efectos de la Isla de Calor. La pintura acrílica negra -P02- aumenta su temperatura 49°K más que la impermeable blanca -P15.

En Fig. 4 se grafican los comportamientos térmicos y características ópticas del total de las pinturas estudiadas, en relación a una superficie estándar negra y blanca utilizadas para el cálculo del índice SRI. En detalle D1, se amplía la información debido a la gran concentración de pinturas blancas que oscila entre un rango térmico de 312-305 °K y valores de reflectancia de 0.78-0.84.

Cabe destacar que la pintura atérmica (así difundida en el mercado) -P01- no demuestra tener el comportamiento más eficiente en relación al resto de los recubrimientos. Ésta pintura se ubica en el noveno lugar (de los 16 casos evaluados) de acuerdo al valor de SRI, es decir en su habilidad para disminuir las cargas térmicas superficiales. Posee un SRI=88% y una diferencia térmica de 6°K con respecto a la pintura más fría -P15: Pintura látex impermeable blanca. (Tabla 3; ver P01 vs P15).

Registros térmicos entre Pinturas Látex Acrílicas Blancas (ac)

Si dejamos constante el color y evaluamos la incidencia de la composición, vemos que para el caso de la composición acrílica la pintura -P13- posee el mejor funcionamiento térmico. Con registros de temperatura superficial de 307°K y un SRI=95%.

Las pinturas acrílicas que presentan menores niveles de SRI son: -P11-P12-, alcanzando idénticos valores de T_s = 312°K y SRI= 86%. En adición, entre los casos extremos en pinturas acrílicas blancas se obtuvieron diferencias de 9% en su habilidad para disminuir las temperaturas superficiales. (Tabla 3 y Fig.4).

Registros térmicos entre Pinturas Látex Impermeables Blancas (im)

Dentro de las muestras de composición impermeable la pintura blanca -P15- consigue el mejor comportamiento. Este recubrimiento registra una T_s =305°K y un SRI=99%. En segundo y tercer lugar, se ubican las pinturas impermeables -P14- con una T_s =308°K, SRI=94% y la -P05- con una T_s =309°K, SRI=91%.

Las alternativas impermeables con menor capacidad para mitigar las cargas de calor de una ciudad, son: -P10-P09-P08- con un rango térmico superficial que oscila entre: 311-312°K y SRI entre 86-87% en los tres casos. (Tabla 3 y fig. 4).

Es decir, que se relevaron diferencias de SRI ente los casos extremos de pinturas impermeables de 13%.

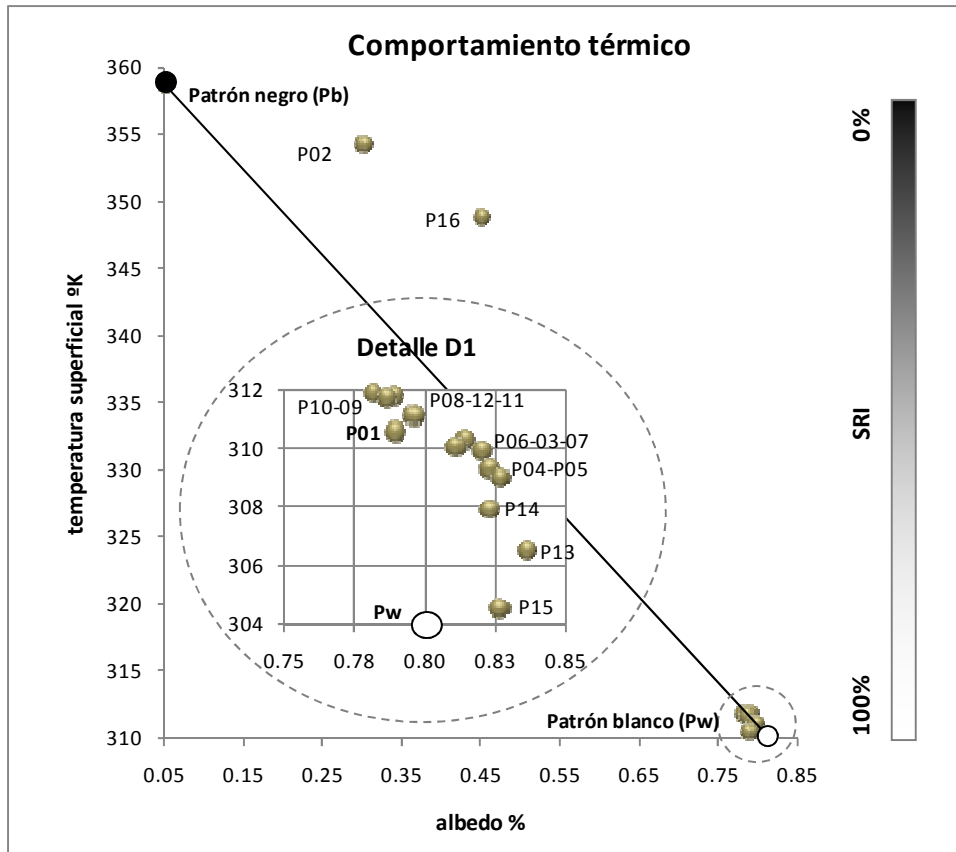


Fig. 4: Índice de Reflectividad Solar (SRI), según temperatura superficial (°K) y albedo de pinturas para fachadas.

Costo de Inversión Inicial de Pinturas

Se distinguen tres tipos de categorías de pinturas según costo por litro: (Tabla 3):

- Gama económica: de 20 a 40 pesos.
- Gama estándar: de 40 a 50 pesos
- Alta Gama: de 50 a 70 pesos.

Del total de las muestras evaluadas, se observa que el 50% de las mismas se encuentran dentro de la gama estándar, con un costo de 40 a 50 pesos por litro. Al comparar los casos extremos (P13 vs P05) detectamos que la pintura blanca acrílica -P13- es \$42 más económica por litro que la pintura-P05- de composición impermeable en el mismo color. Es decir que la composición es una variable incidente el costo final del producto.

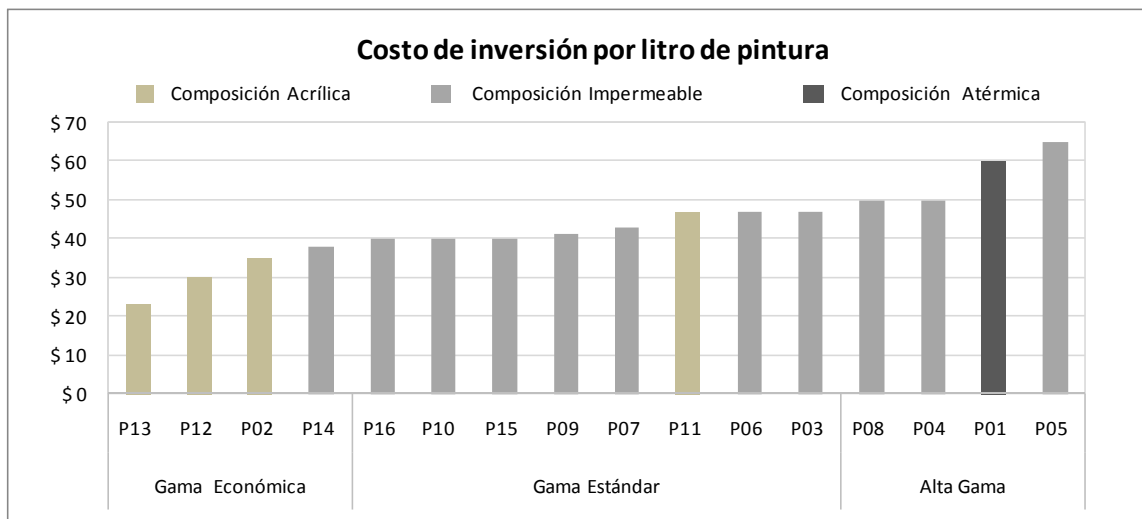


Fig. 5: Costos de inversión inicial por litro de pinturas para fachadas.

Costo según Composición

Las pinturas de composición acrílica (ac) integran la gama estándar y económica. Sus costos varían entre \$23 y \$47, dentro de éste grupo la alternativa más costosa es la pintura -P11.

Dentro de las pinturas de composición impermeable (im) evaluadas los precios de venta por litro oscilan de \$38 a \$65. Es decir, que el material de composición impermeable presenta una amplia graduación de costos. Integrando las gamas: económica, estándar y alta.

La pintura atérmica -P01- se clasifica dentro del rango de alta gama con un precio por litro de \$60. (Fig. 5)

Relación Costo – Beneficio

En la Fig.6 se determina que las pinturas de gama económica: -P13, P14- y la pintura -P15-, de gama estándar, muestran un comportamiento óptimo en lo que respecta a la relación entre los costos de inversión y su potencial de disminución de la carga térmica, en relación al resto de las alternativas estudiadas. La pintura -P13- es un recubrimiento de composición acrílica y muestra el funcionamiento térmico más eficiente en relación a su costo, con un SRI= 95% y precio por litro= \$23. En segundo y tercer lugar, se ubican los recubrimientos de composición impermeable: la pintura -P15- es la opción más fría con registros de SRI=99% y un costo de \$40; y por último la -P14- con un SRI=93% y un costo de \$38 por litro.

Los recubrimientos para fachadas de color blanco más desfavorables son en orden ascendente: la pintura atérmica-P01- con un SRI=88% y un costo=\$60, en segundo lugar la pintura impermeable -P05- con SRI=91% y un costo por litro= \$65, y por último la pintura impermeable -P08- con un SRI= 86% y un costo= \$50. En los tres materiales los niveles de SRI no superan el 91%, mientras que su costo inicial es mayor a \$50 por litro (Fig.6).

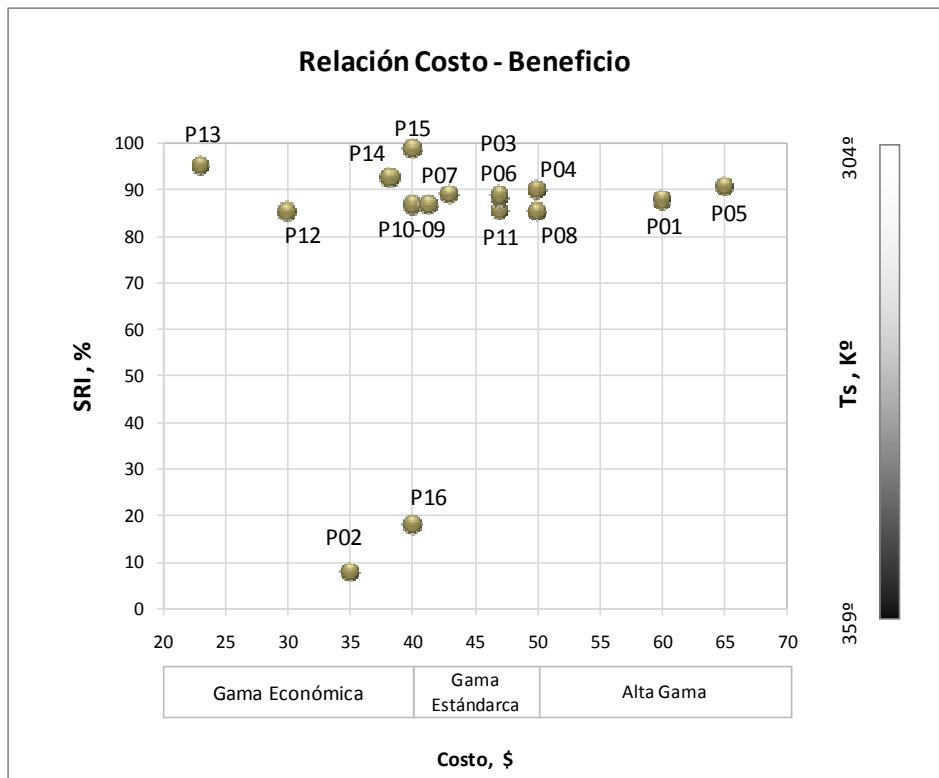


Fig. 6: Relación costo- beneficio de pinturas para fachadas según su Índice de Reflectancia Solar (SRI) en porcentaje y costo de inversión inicial en pesos.

CONCLUSIONES

Dentro del estudio térmico de las pinturas seleccionadas, los resultados muestran que para una misma composición y color se registraron diferencias térmicas superficiales de 7°K entre pinturas impermeables (P15 vs P08). Mientras que para las composiciones acrílicas se obtuvieron diferencias de 5°K. (P13 vs P12).

Con respecto a la pintura -P01-, a pesar de su condición atérmica, no consigue alcanzar menores temperaturas superficiales que el resto de las alternativas, con un SRI=88% y registros de 311°K, es decir 6°K de temperatura superficial por arriba de la opción más eficiente (P15=305°K). En el caso de las pinturas látex de tonalidades oscuras (terracota y negro), muestran un funcionamiento ineficiente respecto de su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas. Con niveles de SRI inferiores al 19%.

El mayor costo económico inicial no es un indicador proporcional al potencial de disminución de la carga térmica que presenta la pintura. Tal es el caso de la pintura impermeable -P15- que pertenece a una gama estándar y resulta ser el

recubrimiento de mayor nivel de SRI (99%). Los recubrimientos -P13, P14-de gama económica también muestran un comportamiento eficaz, con porcentajes de SRI promedios de 94%

Es decir, que la selección de una pintura según su costo inicial no es un indicador de su eficiencia térmica, ni tampoco es estricta la definición en términos de mercado (ver comportamiento de recubrimiento presentado como atérmico). Es necesario un estudio más profundo, que pondere el potencial de cada recubrimiento para disminuir la carga térmica y de esta forma asegurar que su aplicación en la envolvente edilicia sea eficiente térmicamente pero al a la vez resulte una alternativa eficaz en relación a su costo/beneficio.

En esta primera etapa se seleccionaron mayoritariamente los colores blancos, pues el color claro en general posee un mayor albedo y por lo tanto un mejor comportamiento térmico. No obstante las diferencias térmicas encontradas en las pinturas blancas (Δ SRI en pinturas acrílicas= 9% y Δ SRI en pinturas impermeables= 13%) ponen de manifiesto que no es suficiente la selección sólo del color para garantizar el mejor funcionamiento térmico. Es por ello, que las prestaciones térmicas de las pinturas deben estar asociadas al comportamiento simultáneo de color y composición.

En etapas futuras, se determinará el desgaste de niveles de SRI producido por las condiciones de intemperie acumulación de suciedad en las pinturas, para ponderar el efecto del envejecimiento sobre el comportamiento térmico del material. Con ello se pretende obtener una visión global de la durabilidad de cada pintura en relación a su costo a través de los años.

Resumiendo, en el mercado regional existe una amplia variedad de colores, composiciones y precios en pinturas para fachadas. En este trabajo se ha optado por hacer un estudio pormenorizado de lo que a priori parece ser la mejor opción desde el punto de vista del enfriamiento, es decir el color blanco y se han tomado dos extremos el terracota y el negro para evaluar la magnitud de la diferencia entre la mejor y la peor alternativa.

Los resultados muestran claramente, que aún para el caso de los blancos disponibles en el mercado, existen diferencias que alcanzan el 13% en cuanto a su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas. Es de esperar que si estas diferencias se encuentran entre muestras todas representativas de la mejor opción, tanto más se encontrarán cuando se amplíe la gama de colores, como se proyecta continuar a futuro. Un indicio de esto, surge del análisis del negro y terracota vs el blanco con diferencias máximas de SRI que alcanzan valores de 81 a 91% de diferencias con los blancos en su eficiencia para disminuir las temperaturas urbanas. Esto pone de manifiesto que resulta importante seleccionar la opción adecuada, cuando de pinturas de fachada se trata, como una estrategia pasiva para reducir el consumo anual de energía asociado a las cargas de enfriamiento y mejorar las condiciones de confort de los espacios urbanos y edificios, atendiendo además a los costos de inversión inicial que cada alternativa conlleva.

Respecto al abordaje de los costos de inversión, cabe aclarar, que los resultados pretenden ajustarse mejor considerando cómo el envejecimiento asociado a la exposición a las condiciones ambientales afecta la durabilidad y la eficiencia térmica de cada muestra evaluada. Es decir que es posible que un mayor costo de inversión inicial aunque en principio no resulte estrictamente vinculado a la eficiencia térmica del producto, con el tiempo pueda variar esta situación, para corroborar esta hipótesis a futuro se hará un análisis de costo de ciclo de vida y eficiencia térmica para cada muestra.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials. (2006). ASTM E-1933-99a: Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers.
- American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM E-1980-11: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.
- Avdelidis N., y Moropoulou A. (2003). Emissivity Considerations in Building Thermography. *Energy and Buildings* 35, 663-667.
- Cheng V. y Givoni B. (2005). Effect of Envelope Colour and Thermal Mass on Indoor Temperatures in Hot Humid Climate. *Solar Energy* 78, 528-534.
- Dornelles K., Roriz M., Roriz V. y Caram R. (2011). Thermal Performance of White Solar-Reflective Paints for Cool Roofs and the Influence on the Thermal Comfort and Building Energy. Use in Hot Climates. *Solar World Congress*. ISES. International Solar Energy Society.
- Doya, M., Bozonnet, E. y Allard, F. (2012). Experimental Measurement of Cool Facades Performance in a Dense Urban Environment. *Energy and Building*. En prensa.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición. Wiley Interscience, New York.
- Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Building*, pp. 1-36; 81-130. International Thomson Publishing, Inc., New York.
- Kai, L., Neide, M. y Vanderley M. (2010). Estimating Thermal Performance of Cool Colored Paints. *Energy and Buildings* 42, 17-22.
- Karlessi T., Santamouris M., Apostolakis K., Synnefa A., y Livada I. (2009). Development and Testing of Thermochromic Coatings for Buildings and Urban Structures. *Solar Energy* 83, 538-551.
- Kipp & Zonenproduct Catalogue. Disponible en: <<http://www.kippzonen.com>>. Acceso: 1 mar. 2012.
- Levinson, R. y Akbari, H. (2002). Effects of Composition and Exposure on the Solar Reflectance of Portland Cement Concrete. *Cement and Concrete Research* 32, 11, 1679-1698.
- Muselli M. (2010). Passive Cooling for Air-conditioning Energy Savings with New Radiative Low-cost Coatings. *Energy and Buildings* 42, 945-954.

Santamouris M., Synnefa A. y Karlessi. (2011). Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. *Solar Energy* 85, 3085-3102

Santamouris M. (2006). En +environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach. pp.95-119. Earthscan. UK. Reino Unido.

Synnefa A, Santamouris M., Apostolakis K. (2007). On the Development, Optical Properties and Thermal Performance of Cool Colored Coatings for the Urban Environment. *Solar Energy* 81, 488-497.

ABSTRACT:

Urban surfaces have albedo values lower than the natural environment, these results in greater energy absorption and heat storage which contributes to the formation of the urban heat island phenomenon. A passive cooling strategy that is effective and low cost, is the application of reflective paint on the off buildings' surfaces. The purpose of this study is to select the appropriate option to reduce annual energy consumption associated with cooling loads in relation to the initial investment costs of each alternative entails. For this, we evaluated the potential for passive cooling of 15 samples of paints for facades. The paint's samples are acrylic or waterproof latex composition of different initial investment costs per liter compared to the behavior of an athermal painting widely available in the park of buildings of the city of Mendoza, Argentina. The study was conducted by measuring solar reflectance and surface temperature regarding a white and a black pattern, defined as Solar Reflectance Index (SRI) according to ASTM E1980. The results show that for the same type and color of paint were recorded surface temperature differences between the cases evaluated in the order of 6 K waterproof paint and 5 K for acrylic compositions. It also notes that the economic cost is not a proportional indicator to the cooling potential of painting, since the coating with higher levels of SRI is in a range of standard price.

Key words: behavior thermal, facades coatings, solar reflectance index, cost- benefice.