



“EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CUBIERTAS. COMPARATIVA DE PROPIEDADES OPTO-TÉRMICAS DE MATERIALES TRADICIONALES Y RECICLADOS”

EJE 1. INNOVACIÓN EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS/ESTRUCTURALES

Alchapar Noelia Liliana¹
Sánchez Amono María Paz²
Correa Erica Norma¹
Gaggino Rosana²
Positieri María Josefina³

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE-CONICET), Argentina,
nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar

² Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE-CONICET), Argentina,
arq.mpsa@gmail.com

³ Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad (CINTEMAC-UTN) Argentina,
cintemac@gmail.com

RESUMEN

La presencia de las ciudades eleva la temperatura de aire, debido a que se modifica el balance energético natural y se incrementan las emisiones de CO₂. Para la consecución de ciudades más sustentables, en términos ambientales, resulta determinante desarrollar y seleccionar aquellos materiales de construcción con tecnologías que permitan un modelo urbano energéticamente eficiente y una economía de bajo carbono durante todo el ciclo de vida del material. En la construcción tradicional, tanto los materiales empleados, como los modos de producción, ocasionan un fuerte impacto medioambiental, estos implican la extracción de materias primas las cuales, en su mayoría, son recursos no renovables. Una alternativa para disminuir los costos energéticos y ambientales, asociados a su fabricación, es el desarrollo de materiales elaborados con compuestos de residuos reciclados. Durante la etapa de uso, otra opción para promover la eficiencia ambiental mediante un uso racional de la energía, es la aplicación extendida de materiales con alto albedo y alta emitancia térmica en la envolvente urbano-edilicia. En particular, los techos son las superficies opacas horizontales más expuestas a la radiación solar, y, por lo tanto, son los que absorben la mayor carga térmica de una estructura edilicia. El objetivo general de este trabajo es categorizar los distintos materiales de cubiertas de techo de acuerdo a su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas, mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980-11. Se clasificaron 33 tipos de materiales tradicionales de techos de mayor frecuencia de uso en el mercado nacional -7 membranas asfálticas, 8 membranas líquidas y 16 tejas-, en contraste con el comportamiento de 1 teja con tecnología reciclada, compuesta por residuos de caucho (NFU) y polietileno de baja densidad (PEDB). Los materiales de techo fueron clasificados según características morfo-materiales -composición, color, forma, terminación-. El material que posee el comportamiento más eficiente es la *membrana líquida poliuretánica blanca-M11-* (SRI = 100%) y el más ineficiente es la *membrana asfáltica geotextil verde -MO7-* (SRI = 28%).

Mientras que la teja de tecnología reciclada, *francesa negra-T17-* alcanzó un $SRI=51\%$. Dadas las características intrínsecas del material reciclado, las tejas presentan amplias posibilidades de mejorar su comportamiento opto-térmico mediante la incorporación de materiales reflectivos a su composición.

PALABRAS CLAVE: PROPIEDADES OPTO-TÉRMICAS, MATERIALES DE TECHO, TECNOLOGÍAS TRADICIONALES, RECICLADO, CARACTERÍSTICAS MORFO-MATERIALES.

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de las urbes eleva la temperatura de aire, debido a la modificación del balance energético natural y al incrementan las emisiones de CO_2 . El comportamiento térmico y rendimiento energético de las ciudades, en gran medida, está influenciado por su diseño morfológico y características materiales. (Araújo, Laurencó, 2005; Alchapar et.al, 2017). La reducción de las temperaturas superficiales de pavimentos, techos y envolventes verticales, por convección del calor, contribuye en la disminución de las temperaturas ambientales. Estos descensos tienen impactos significativos sobre los consumos energéticos para refrigeración.

Para la consecución de ciudades más sustentables, en términos ambientales, resulta determinante desarrollar y seleccionar aquellos materiales de construcción con tecnologías que permitan un modelo urbano energéticamente eficiente y una economía de bajo carbono durante todo el ciclo de vida del material. En la construcción tradicional, tanto los materiales empleados, como los modos de producción, ocasionan un fuerte impacto medioambiental, estos implican la extracción de materias primas las cuales, en su mayoría, son recursos no renovables.

Una alternativa para disminuir los costos energéticos y ambientales, asociados a su fabricación, es el desarrollo de materiales elaborados con compuestos de residuos reciclados. En este marco el objetivo del trabajo, es dar continuidad a investigaciones desarrolladas por el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE-CONICET) que evalúan la eficiencia energética de diversos materiales de la envolvente urbano edilicia (Alchapar et al., 2014; Alchapar y Correa, 2016) y profundizar desarrollos específicos que buscan reducir los impactos energéticos de fabricación, llevadas adelante en el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE-CONICET). En este sentido, se visualiza un cambio en la concepción de la cultura de la construcción y el surgimiento de los llamados “nuevos materiales”. Como aspectos que limitan su uso, se debe subrayar la falta de mentalización entre los usuarios y el escaso conocimiento que de estos materiales se tiene (Sánchez Amono, 2018).

En la actualidad, toneladas de neumáticos son eliminados provisoriamente en vertederos de basura al aire libre, sin encontrarse aún una solución efectiva en nuestro país. Un NFU es aquel que por su estado, con relación a las normas de seguridad vigentes no es apto para su uso sin aplicar técnicas que prolonguen su vida útil. Según lo informado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), se estima que en nuestro país la generación de neumáticos fuera de uso supera las 100.000 toneladas anuales (INTI, 2010). Según la empresa Regomax, hoy en día ésta cifra asciende a 150.000 toneladas anuales. Otro material que se encuentra en abundancia es el plástico. Constituyen el 13,3% del total de los residuos sólidos urbanos (en peso) lo que equivale al 30% del total (en volumen) en la Argentina. Dentro de los plásticos se destaca por su cantidad el polietileno de baja densidad, ya que se generan 787.296 Tn de polietileno anuales (CEAMSE, 2017). Se usa principalmente en bolsas, bidones, caños, etc. Es un material que se produce a partir de combustibles fósiles y demora más de 150 años en degradarse, a la intemperie.

Al investigar características físicas y mecánicas tanto del caucho como del polietileno (PEBD), y su gran disponibilidad, se resolvió utilizar estos dos tipos de residuos con el objetivo desarrollar un nuevo material para aplicar a una tecnología constructiva de cubierta de tejas.

Otra opción para promover la eficiencia ambiental mediante un uso racional de la energía, desde el enfoque de la etapa de uso del material, es la aplicación extendida de materiales con alto albedo y alta emitancia térmica de la envolvente urbano-edilicia. Estos materiales se denominan en la bibliografía internacional como *cool material* (Santamouris et al., 2011), ellos se mantienen más frescos expuestos a la radiación solar y tienen mayor habilidad para entregar durante la noche el calor en forma de radiación de onda larga, reduciendo así la demanda energética para refrescar edificios y mejorando el confort interior de los edificios sin aire acondicionado.

En particular, los techos son las superficies opacas horizontales más expuestas a la radiación solar, y, por lo tanto, son los que absorben la mayor carga térmica de una estructura edilicia (Givoni 1994). Numerosos estudios han descripto los beneficios de los techos con alto albedo como un eficaz estrategia pasiva para el enfriamiento (Santamouris et al., 1998; Niachou et al., 2008), cuantificando la energía ahorrada en diferentes tipos de edificios y climas (Simpson, 1997; Zinzi 2012).

La hipótesis que sustenta la investigación indica que, para alcanzar un desarrollo urbano-edilicio sustentable es necesario efectuar una caracterización precisa de propiedades físicas y radiativas de materiales regionales, de acuerdo a tecnologías endógenas, desarrollo, y producción local.

La finalidad del presente trabajo es categorizar los distintos materiales de cubiertas de techo de acuerdo a su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas, mediante el cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI) de acuerdo a la norma ASTM E1980-11. Para ello fueron seleccionados 32 tipos de materiales tradicionales de techos de mayor frecuencia de uso en el mercado nacional en contraste con el comportamiento de una teja con tecnología reciclada, compuesta por residuos de caucho (NFU) y polietileno de baja densidad (PEBD) elaborada por investigadores del Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE-CONICET) y del CINTEMAC-UTN, Córdoba-Argentina.

2. MATERIAL Y METODO

2.1. Proceso de fabricación de tejas con compuestos reciclados

Para la fabricación de tejas con material reciclado se combina el proceso de extrusión y moldeo por compresión mediante una máquina extrusora. Cuenta con tres zonas de calentamiento (270 °C, 275 °C y 280 °C) y prensa neumática que aplica una fuerza de 20 Tn/cm². En primer lugar, se lleva a cabo la dosificación de los materiales y se disponen en un recipiente. La mezcla de caucho y PEBD necesaria para hacer una teja se vuelca en la tolva y la pasta se extrude. Una vez extruida la cantidad de mezcla necesaria para llenar el molde, se acciona la prensa neumática y el molde superior descende aplicando una fuerza de 20 Tn sobre la pasta. El moldeo se realiza durante cinco minutos, tiempo en el cual la pasta se endurece manteniendo así la forma deseada. La teja recién moldeada debe ser colocada en un bastidor para que no se deforme en su proceso de enfriamiento. Luego del moldeo la teja presenta rebabas de material que se generan por acción de la presión y rebalsado del molde, es por eso que se hace necesario quitarla mediante el corte con sierra circular (Sánchez Amono, 2018).

2.2. Selección y caracterización de la unidad muestral

Con el objetivo de comparar el desempeño óptico de diversos materiales de techo, se calificaron 32 tipos de materiales tradicionales de mayor frecuencia de uso en el mercado nacional (Figura 1). Como criterio de análisis los materiales de techo fueron categorizados según composición y características morfológicas - color, forma, terminación-. Las muestras se ubicaron en una base de poliestireno expandido de 10 cm, en el predio del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas (32 ° 53'45 "de latitud sur y 68 ° 52'28" de longitud oeste).



Figura 1. Imágenes de los materiales de techos evaluados. Tejas tradicionales -cerámicas y cementicias- (T01 a T16) y con compuesto reciclado (T17); membranas asfálticas -aluminio y geotextil- (Mo1 a Mo7) y líquidas (Mo8 a M15).

2.2. Cálculo del Índice de Reflectancia Solar (SRI)

En este trabajo se cuantifica el calor que acumularía un material en relación a una superficie patrón blanca y una negra, bajo condiciones ambientales estándar, definido como Índice de Reflectancia Solar (SRI) según norma ASTM E1980-11. Este indicador incorpora el albedo, absorptancia solar y emitancia térmica en un único término que representa la temperatura de una superficial horizontal, o de baja pendiente ($< 9.5^\circ$), de un material opaco expuesto al sol. Permitiendo una comparación directa entre superficies con diferentes propiedades ópticas (ASTM Standard 2011). Aquellos materiales que registran niveles de SRI cercanos a 100% son los más eficientes, por el contrario, los materiales con registros cercanos a 0%, tienen comportamientos ineficientes. Es

PROPIEDAD	Reflectancia solar o albedo ($\hat{\alpha}$)	Absortancia solar	Emisividad térmica (ϵ)	Índice de reflectancia Solar
DEFINICIÓN	Es la fracción del flujo solar reflejada por una superficie.	Es la fracción del flujo solar absorbida por una superficie.	es la proporción de flujo radiante emitido por una superficie a una temperatura dada, en relación a la emitida por un radiador de cuerpo negro a la misma temperatura.	Es la temperatura superficial relativa de una superficie con respecto a la temperatura superficial del patrón blanco (SRI=100) y patrón negro.
MÉTODO	Método Variante de la Norma ASTM E1918-16: Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field, desarrollado por Akbari et al. 2008.	Para superficies opacas su valor es igual a: $1 - \hat{\alpha}$	ASTM E1933-14: Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometer.	ASTM E1980-11: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.
INSTRUMENTACIÓN	Albedómetro (Kipp & Zonen CMA 11, rango espectral de 285 a 2800 μm).		Termómetro (tipo IR Fluke 568 con ajuste de emisividad). Termocouple T incorporada a data loggers (LASCAR EL-USB-TC).	Cámara termográfica infrarroja (tipo Fluke Ti 55, rango de 7.5 a 14 μm).

Tabla 1. Descripción de métodos e instrumentación para evaluar el albedo ($\hat{\alpha}$), absorptancia (α), emisividad térmica (ϵ), e Índice de Reflectancia Solar (SRI) de cada material de techo.

decir que el SRI permite seleccionar los materiales adecuados, con el fin de recomendar aquellos que presentan mejor desempeño en torno a disminuir las temperaturas urbanas.

Las características ambientales de los días de medición fueron registradas con una estación meteorológica móvil tipo ONSET Weather, HOBO®, modelo H21 -001. Los registros opto-térmicos y el cálculo de SRI se llevó a cabo a las 13:00 hs. durante el período estival comprendido entre el año 2013 y el año 2019, para condiciones ambientales estándares, y según métodos y equipamiento listados en la Tabla 1.

3. RESULTADOS DEL DESEMPEÑO OPTO-TÉRMICO DE CASOS EXTREMOS

Luego de realizar los ensayos bajo condiciones controladas, la Tabla 2 describen las propiedades opto-térmicas obtenidas según las carteristas morfológicas y de composición de cada material. Los resultados son expuestos según el siguiente criterio de clasificación: -Niveles de SRI $\geq 75\%$ se consideran materiales eficientes; SRI $\leq 74\% \geq 50\%$ presentan moderada eficiencia; SRI $\leq 49\% \geq 25\%$ son materiales ineficientes en orden de disminuir las temperaturas superficiales y urbanas.

TEJIDOS	Cod.	Composición	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS			PROPIEDADES OPTO-TÉRMICAS					
			Forma	Terminación	Color	α	ρ	ϵ	Ts	SRI	
teja	T01	Cerámica	colonial	natural	terracota	0,73	0,29	0,90	43,00	90	
teja	T02	Cerámica	francesa	natural	terracota	0,62	0,38	0,90	48,00	80	
teja	T03	Cerámica	francesa	esmalada	terracota	0,64	0,36	0,90	47,00	81	
teja	T04	Cerámica	francesa	esmalada bicolor	negro	0,47	0,53	0,99	56,00	45,5	
teja	T05	Cerámica	francesa	esmalada monocolor	negro	0,41	0,59	0,99	58,00	39	
teja	T06	Cerámica	francesa	mate bicolor	negro	0,41	0,59	0,99	58,00	39	
teja	T07	Cerámica	francesa	mate monocolor	negro	0,43	0,57	0,99	57,00	40	
teja	T08	Cerámica	romana	esmalada	terracota	0,71	0,29	0,95	42,00	90	
teja	T09	Cerámica	romana	natural	terracota	0,67	0,33	0,90	45,00	85	
teja	T10	Cerámica	romana	envejecida	terracota	0,55	0,45	0,95	51,00	72	
teja	T11	Cerámica	colonial	natural	terracota	0,47	0,53	0,99	55,00	64	
teja	T12	Cerámica	francesa	mate	negro	0,31	0,69	0,99	64,00	47	
teja	T13	Cerámica	francesa	esmalada/acrílica	negro	0,37	0,63	0,99	61,00	53	
teja	T14	Cerámica	francesa	natural	gris	0,65	0,35	0,90	46,00	82	
teja	T15	Cerámica	colonial	mate	negro	0,46	0,54	0,99	56,00	63	
teja	T16	Cerámica	francesa	mate	terracota	0,46	0,54	0,99	56,00	63	
teja	T17	Compuestos reciclados	francesa	mate	negro	0,32	0,68	0,99	67,00	51	
membrana	M01	Asfáltica aluminio	n/a	brillante	sin pintar	0,84	0,16	0,08*	34,50	69	
membrana	M02	Asfáltica aluminio	n/a	mate	blanco	0,71	0,29	0,90	45,50	85	
membrana	M03	Asfáltica aluminio	n/a	mate	rojo	0,43	0,57	0,99	75,00	32	
membrana	M04	Asfáltica aluminio	n/a	mate	verde	0,39	0,61	0,99	77,00	28	
membrana	M05	Asfáltica geotextil	n/a	mate	blanco	0,70	0,30	0,90	48,00	81	
membrana	M06	Asfáltica geotextil	n/a	mate	rojo	0,44	0,56	0,99	76,00	30	
membrana	M07	Asfáltica geotextil	n/a	mate	verde	0,40	0,60	0,99	77,50	28	
membrana	M08	Líquida eco 4000	n/a	mate	blanco	0,69	0,31	0,85	44,00	87	
membrana	M09	Líquida premium	n/a	mate	blanco	0,66	0,34	0,94	45,00	86	
membrana	M10	Líquida poliuretánica 4000	n/a	mate	blanco	0,78	0,22	0,95	36,50	100	
membrana	M11	Líquida eco	n/a	mate	blanco	0,65	0,35	0,99	49,50	85	
membrana	M12	Líquida acrílica	n/a	mate	blanco	0,79	0,21	0,95	36	100	
membrana	M13	Líquida poliuretánica 3000	n/a	mate	blanco	0,72	0,28	0,95	41,00	94	
membrana	M14	Líquida fibrada	n/a	satinada	blanco	0,83	0,17	0,90		89	
membrana	M15	Líquida fibrada	n/a	satinada	rojo	0,61	0,39	0,95		59	

* dato de bibliografía

0,00%

0%

100%

verde

amarillo

rojo

resistencia alta

resistencia media

resistencia baja

n/a: no aplica

Tabla 2. Caracterización de propiedades opto-térmicas, y morfológicas y de composición para cada tipo de material de techo evaluado.

- **Material más eficiente:** Al contrastar los comportamientos registrados en el total de las muestras se observa que el material con el comportamiento más eficiente es la *Membrana líquida poliuretánica mate blanca-M10-*, registra niveles de SRI = 100%, albedo = 0.78 y emisividad térmica = 0.95 (Tabla 2).
- **Material ineficiente:** El material de techo que más eleva su temperatura superficial y por lo tanto tiene menor nivel de SRI es la *Membrana asfáltica geotextil mate verde -M07-*, con un SRI = 28 %, albedo = 0.40 y emisividad térmica = 0.98. Al analizar en particular el elemento teja, se evidencia que esta tipología de revestimiento muestra un desempeño intermedio, en relación a las membranas, con niveles de SRI que oscilan entre 90% y 47% (Tabla 2).

4. EVALUACIÓN DE MATERIALES SEGÚN CARACTERÍSTICAS MORFO-MATERIALES

En el siguiente análisis, para evaluar el grado de dependencia del SRI respecto una variable (composición, forma, terminación y color) se mantienen constantes las restantes, en cada tipología de techo. En la Figura 2 se graficó la distribuciones de frecuencias de niveles de SRI de acuerdo a características morfológicas de membranas y tejas.

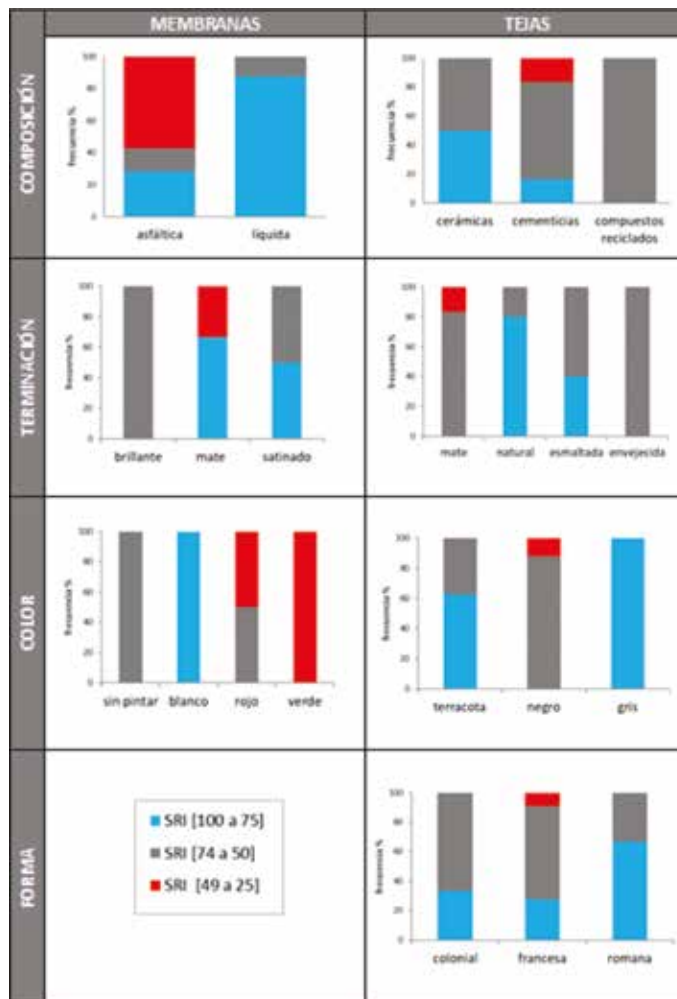


Figura 2. Histograma de SRI, según a características morfológicas (composición, terminación, color, y forma) de membranas y tejas.

4.1. Análisis según composición:

- **Membranas -asfálticas versus líquidas-**: La composición que registra mayor eficiencia para disminuir las temperaturas urbanas es la *líquida*. El 87.5% de las membranas evaluadas con mencionada composición registran niveles de SRI superiores al 75% y el 12.5% restante presenta un desempeño moderado. La composición *asfáltica* tiene comportamientos más extremos, donde el 57% muestra bajos niveles de SRI y el 28.6% resultan más eficientes. En particular las membranas asfálticas de aluminio son más frías que las membranas asfálticas geotextiles (ver M2, 3, 4, versus M5, 6 y 7 en Tabla 2 y Figura 2).
- **Tejas -cerámicas, versus cementicias y con compuestos reciclados-**: Manteniendo constante el color, terminación, y forma, el mejor desempeño en términos de temperatura superficial y SRI lo alcanza la *composición cerámica*. Del total de las tejas evaluadas el 50% mostraron niveles de SRI superiores al 75% y el 50% restante alcanzaron una moderada

eficiencia. El 83.3% de las tejas de *composición cementicia* tienen una moderada eficiencia. Excepto la teja *T12* de color negro, que tiene el comportamiento más eficiente, con niveles de SRI= 47%. Resulta importante destacar que los colores claros mejoran notablemente el comportamiento térmico de las tejas cementicias (ver *T12* vs. *T14* en Tabla 2). Respecto a la composición de tejas con materiales reciclados, la muestra testada presentó una moderada eficiencia, con un SRI= 51%. Esto se debe a que la teja ensayada es de color negro y por lo tanto tiene bajos niveles de albedo = 0.32, sumado a su relativamente baja emisividad térmica (ver *T17* en Tabla 2 y Figura 2).

4.2. Análisis según terminación

- **Membranas -mate, versus satinada y brillante-:** El 67% de las membranas con *terminación mate* y el 50% de las membranas con *terminación satinada* tiene altos niveles de albedo. Mientras que la *terminación brillante* tiene una eficiencia moderada. Cabe señalar que, del total de las muestras ensayadas, los únicos dos materiales que tienen niveles de SRI=100% tienen terminación mate (ver *M10* y *M12* en Tabla 2 y Figura 2).
- **Tejas -mate, versus natural, esmaltada, y envejecida-:** Por el contrario, a lo relevado en las membranas, la terminación de teja más eficiente es la *natural* y la *esmaltada*, con una frecuencia del 80 y 40% respectivamente. Las tejas en tonalidades oscura mejoran notablemente su desempeño con la *terminación esmaltada*, se relevaron diferencias en los niveles de SRI =11.5% (ver *T4* versus *T12* en Tabla 2). Las terminaciones *mates* y *envejecidas* presentaron un moderada o ineficiente desempeño, con SRI inferiores al 50%.

4.3. Análisis según color

- **Membranas -blanco versus terracota, rojo, verde y sin pintar-:** En general en todas las composiciones, y terminaciones los *colores blancos* tienen una mejor capacidad. Ellos alcanzan un SRI promedio de 90%. Luego se ubican la membrana *sin pintar* con 68% de SRI y en tercer lugar el *color rojo*. Específicamente la membrana *color rojo -M15-* consigue un buen desempeño con SRI de 58%. En cambio, el *color verde* siempre presenta niveles de reflectividad bajos (SRI inferiores a 29%). Es decir que entre colores se relevaron diferencias de SRI $\geq 71\%$ (ver *M4* y 7 vs. *M2*, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, y 14 en Tabla 2 y Figura 2).
- **Tejas -terracota versus negra y gris-:** El mayor porcentaje de tejas registra un buen comportamiento, con SRI ≤ 50 . Los colores terracota son lo que consiguen menores temperaturas superficiales, con un promedio de SRI=78%. Sin embargo, el *color negro* muestra desempeños eficientes en las composiciones cerámicas y con compuestos reciclados. Se registraron niveles de SRI promedio en tejas color negro de 60% en composición cerámica y de 51% con compuestos reciclados (ver *T4*, 5, 6,7 y *T17* en Tabla 2 y Figura 2).

4.4. Según forma

- **Tejas -francesa, romana, colonial-:** De acuerdo a la clasificación por forma, las tejas *romanas* con diferentes composiciones, colores y terminaciones alcanzan niveles de SRI promedio de 82%. En segundo lugar de eficiencia se encuentra la forma *colonial*, el 33.3% de las muestra testadas registra niveles de SRI superiores al 75%. En particular, en las tejas de color negro la forma *francesa* muestra el mejor desempeño en términos de temperatura superficial y SRI= 63.5% (ver *To4* en Tabla 2 y Figura 2).

5. CONCLUSIONES

En Argentina, la afluencia de nuevos materiales en la industria de la construcción ha aumentado en la última década. Sin embargo, la información de sus propiedades ópticas es muy limitada y, al mismo tiempo, la caracterización del material de construcción recientemente desarrollado tampoco es de dominio público. Para mejorar tanto la eficiencia energética de materiales y componentes de la construcción, como el aprovechamiento y uso racional de la energía derivado de la selección adecuada de los mismos, es esencial que dicho conocimiento se genere y se difunda entre todas las partes interesadas -industria, comercio, usuarios, gobierno, sistema científico-.

Este trabajo permitió la generación de una base de datos de propiedades ópticas y térmicas de tecnologías de materiales de techos tradicionales y reciclados de acuerdo a características morfológicas. Este conocimiento mejora la predicción y el análisis de precisión del comportamiento energético a escala edilicia y urbana.

El análisis comparativo de las posibilidades de optimización que ofrece cada uno de los materiales analizados determina que:

- Entre las características morfológicas más eficientes en membranas, la composición líquida, el color blanco y la terminación mate, son las variables más eficientes. Las membranas con registros máximos en los niveles de SRI (100%) son las membranas líquidas M10 y M15.
- Respecto a la tecnología de teja, la composición romana, el color terracota, la terminación natural o esmaltada y la forma romana, son las características que presentan un comportamiento más eficiente en orden de disminuir las temperaturas superficiales de los techos. Las tejas que alcanzan los mayores niveles de SRI (90%) son las tejas cerámicas To1 y To8.

Al evaluar de forma particular a la teja con compuestos reciclados, esta demostró una moderada eficiencia, con niveles de SRI=51%. Cabe rescatar que la evaluación se ha llevado a cabo sólo en una teja de color negro, que a priori presentan menores niveles de albedo. Sin embargo, dadas las características intrínsecas del material reciclado, las tejas presentan amplias posibilidades de mejorar su comportamiento opto-térmico mediante la incorporación de materiales reflectivos a su composición, en forma de micro esferas o con polvos agregados de dióxido de titanio (TiO₂), además de trabajar para elevar los niveles de emisividad. En trabajos futuros se propone evaluar tipologías de tejas con compuestos reciclados en diferentes colores, formas, texturas.

Los resultados indican la importancia de contar con catálogos que cuantifiquen el comportamiento térmico y ambiental de los materiales disponibles regionalmente, para la resolución de los espacios urbanos como una herramienta para el desarrollo sustentable del hábitat. Sentando las bases de una futura certificación energética edilicia y urbana.

AGRADECIMIENTOS

PICT2017-3248: “Valoración energética y ambiental de los espacios urbanos en ciudades de zonas áridas. Generación de herramientas de calificación y evaluación predictiva”. Directora: Érica N. Correa. Año: 2017-2021.

PIP 112201 501003 18CO: “Tecnologías de envolventes eficientes en ciudades de zonas áridas. Evaluación energética, ambiental y económica”. Directora: María Alicia Cantón y Codirectora: Érica N. Correa. Año: 2016-2019.

Proyecto PIO Residuos Sólidos 2010, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la Provincia de Córdoba. Directora: Rosana Gaggino.

BIBLIOGRAFÍA

- Akbari H., Levinson R. y Stern S. (2008). Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. *Solar Energy* 82, 7, 648-655. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.01.001>
- Alchapar N., Correa E., Canton M. (2014) Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings* 69: 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.012>.
- Alchapar N., Pezzuto C., Correa E. y Labaki L. (2017). Impact of cooling strategies on urban temperatures in warm climates cities. The case of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. *Theoretical and Applied Climatology* 135-50. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1851-5>.
- Alchapar N.; Correa E. (2016) Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics. *Construction and building materials* 102: 297 - 297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.005>
- Araújo P., Laurencio F. (2005) Measurement of albedo and analysis of influence the surface temperature of building roof materials, *Energy Building*, 37: 295-300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.03.009>.
- Araújo Prado R. and Laurencio Ferreira F. (2005). *Measurement of albedo and analysis of influence the surface temperature of building roof materials*. *Energy and Buildings*, 37: 295-300
- ASTM E1933-14, Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.
- ASTM E1980-11, Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org
- Givoni B. (1994) . *Passive and Low Energy Cooling of Building*, International Thomson Publishing Inc., NY, Wiley, pp 1–36; 81–130.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Publicaciones periódicas CEAMSE. Publicación digital de la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado. 2017. Buenos Aires, Argentina.
- INTI. “Argentina comienza a reciclar neumáticos fuera de uso”. *Noticiero Tecnológico Semanal* N° 218. Publicación digital del 26 de julio de 2010.
- Llamas, S. (s.f.) *Neumáticos y vehículos fuera de uso*. Recuperado el 6 de abril de 2015 de <http://www.imd.uncu.edu.ar/upload/NFU%20VFU.pdf>
- Sánchez Amono, M.P. (2018). “Estudio de la viabilidad de aplicación de polietileno y caucho reciclados para un sistema constructivo de cubierta”. Tesis de Doctorado en Ingeniería. Mención Materiales. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Córdoba.
- Niachou K., Livada L., Santamouris M. (2008) Experimental study of temperature and airflow distribution inside an urban street canyon during hot summer weather conditions. -Part I: air and surface temperatures, *Building Environment*, 43: 1383–1392. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.040>
- Santamouris M., Papanikolaou N., Georgakis C. (1998) *Square*, Athens, Greece, Internal Report, Group Building Environmental Studies, Physics Department, University of Athens, Athens, Greece.

- Santamouris M., Synnefa A., Karlessi T. (2011) Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions, *Solar Energy*, 85: 3085-3102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>.
- Simpson J., McPherson E. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona, *Energy Build.* 25 (1997) 127–137. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01002-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01002-X)
- Zinzi M., Agnoli S. (2012) Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region, *Energy Building*, 55: 66– 76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.024>.