



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

métodos &  
**materiales**

Publicación Anual • Volumen 11 • Diciembre 2021 • ISSN electrónico: 2215-4558

# Coloración de tejas de caucho y plástico reciclado y su respuesta opto-térmica

*Coloring of recycled rubber and plastic tiles and their opto-thermal response*

**María Paz Sánchez Amono PhD.**

Becaria posdoctoral CEVE-CONICET, Córdoba, Argentina,  
[arq.mpsa@gmail.com](mailto:arq.mpsa@gmail.com)

**Halimi Cristina Sulaiman PhD.**

Investigadora Adjunta CEVE-CONICET, Córdoba, Argentina,  
[drasulaiman@gmail.com](mailto:drasulaiman@gmail.com)

**Noelia Liliana Alchapar PhD.**

Investigadora Adjunta INAHE-CONICET, Mendoza, Argentina,  
[nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar)

**Rosana Gaggino PhD.**

Investigadora Independiente CEVE-CONICET, Córdoba, Argentina,  
[rosana.gaggino@gmail.com](mailto:rosana.gaggino@gmail.com)

**Érica Norma Correa Cantaloube PhD.**

Investigadora Independiente INAHE-CONICET, Mendoza, Argentina,  
[encorrea@frm.utn.edu.ar](mailto:encorrea@frm.utn.edu.ar)

Fecha de recepción: 12 febrero 2021 / Fecha de aprobación: 22 octubre 2021

Índices y Bases de Datos:

latindex

UCRIndex

REDIB

Dialnet

DOAJ  
DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

PERIÓDICA

biblat  
Bibliografía Latinoamericana

ERIH PLUS  
EUROPEAN REFERENCE INDEX FOR THE  
HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES

Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

[revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales](http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales)

[lanamme.ucr.ac.cr](http://lanamme.ucr.ac.cr)

[metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr](mailto:metodosymateriales.lanamme@ucr.ac.cr)

# Coloración de tejas de caucho y plástico reciclado y su respuesta opto-térmica

## *Coloring of recycled rubber and plastic tiles and their opto-thermal response*

### **María Paz Sánchez Amono PhD.**

Becaria posdoctoral CEVE-CONICET, Córdoba, Argentina,  
arq.mpsa@gmail.com

### **Halimi Cristina Sulaiman PhD.**

Investigadora Adjunta CEVE-CONICET, Córdoba, Argentina,  
drasulaiman@gmail.com

### **Noelia Liliana Alchapar PhD.**

Investigadora Adjunta INAHE-CONICET, Mendoza, Argentina,  
nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar

### **Rosana Gaggino PhD.**

Investigadora Independiente CEVE-CONICET, Córdoba, Argentina,  
rosana.gaggino@gmail.com

### **Érica Norma Correa Cantaloube PhD.**

Investigadora Independiente INAHE-CONICET, Mendoza, Argentina,  
encorrea@frm.utm.edu.ar

Fecha de recepción: 12 febrero 2021 / Fecha de aprobación: 22 octubre 2021

## RESUMEN

La eficiencia energética consiste en lograr un menor consumo de energía frente a una misma prestación. La distinta cantidad de radiación solar que es reflejada o absorbida se debe al color de la superficie. Las tejas desarrolladas en esta investigación son de color negro, por tener partículas de caucho en su composición, que contienen negro de humo. Los colores oscuros tienen una absorptividad solar mayor, por lo tanto, se analizó la alternativa de colorear las tejas con colores claros, para reducir la absorción de radiación solar. El objetivo es evaluar distintas posibilidades técnicas para la coloración de tejas a partir de la incorporación de pigmentos, y determinar el rendimiento energético. Para la fabricación, se incorporaron óxidos, masterbatch, caucho y polietileno de color. Se realizaron experiencias variando sus dosificaciones y para la determinación del comportamiento termo-físico de las tejas se testearon propiedades ópticas (albedo y emisividad) y temperatura superficial de 2 unidades muestrales -una teja coloreada en verde y una en negro-. El grupo con mejores resultados fue el número 3, donde se mezcla el caucho negro, el polietileno verde y el masterbatch. Al comparar el desempeño termo-físico de tejas recicladas color verde en relación a tejas color negro, se observó un comportamiento más eficiente en las tejas de color verde. Se registraron incrementos en el nivel de albedo del 11% y disminuciones de temperatura superficial superior a 8°C.

**PALABRAS CLAVE:** reciclado-tejas-coloración-comportamiento termo-físico.

## ABSTRACT

*Energy efficiency consists of achieving lower energy consumption compared to the same benefit*

*The different amount of solar radiation that is reflected or absorbed is due to the surface color.*

*The tiles developed in this research are black, as they have rubber particles in their composition, which contain carbon black. Dark colors have a higher solar absorptivity, therefore, the alternative of coloring the tiles with light colors was analyzed, to reduce the absorption of solar radiation. The objective is to evaluate different technical possibilities for laying tiles from the incorporation of pigments, and to determine the energy efficiency. For manufacturing, colored oxides, masterbatch, rubber and polyethylene were incorporated. Experiments were carried out varying their dosages and for the determination of the thermo-physical behavior of the tiles, optical properties (albedo and emissivity) and surface temperature of 2 sample units were tested -one tile colored in green and one in black-. The group with the best results was number 3, where black rubber, green polyethylene and masterbatch were mixed. When comparing the thermo-physical performance of recycled green tiles in relation to black tiles, a more efficient behavior was observed in green tiles. Increases in the albedo level of 11% and decreases in surface temperature greater than 8 °C were recorded.*

**KEYWORDS:** recycling-tiles-coloration- opto-thermal response.

## INTRODUCCIÓN

Los neumáticos fuera de uso -NFU- no tienen un destino final adecuado, en su mayoría son llevados a basurales, causando contaminación. Representan un riesgo al convertirse en un ámbito de albergue y proliferación de roedores e insectos, y tardan hasta 600 años en degradarse. Además, es un material de fácil combustión, que puede provocar incendios y emanación de gases tóxicos. En la Argentina, la planta procesadora de NFU Regomax para la región metropolitana de Buenos Aires tiene una capacidad de reciclado de 12.000 Tn anuales (Regomax, 2020).

Otro material que se encuentra en abundancia en los vertederos de basura es el plástico. En la Argentina, constituyen el 13,3% del total de los residuos sólidos urbanos (RSU) (en peso) lo que equivale al 30% del total (en volumen). El polietileno (PE) es químicamente el polímero más sencillo, debido a su bajo precio y simplicidad en su fabricación. En Argentina se generan 787.296 Tn anuales (CEAMSE, 2017). En Argentina el reciclado de los NFU está concentrado en solamente tres plantas de tratamiento del residuo (Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba), en cambio, hay una gran cantidad de plantas de reciclado de plásticos, de distinta capacidad. Ecoplas es una Asociación Civil sin fines de lucro que promueve el reciclado del plástico en nuestro país, vinculada a la Cámara del Plástico (Directorio de Recicladores plásticos, 2020).

Techos, fachadas de edificios, calles, plazas, etc. representan una importante masa de acumulación ya que absorben la radiación solar y la re-emiten al ambiente en forma de radiación de onda larga y con un desfase en el tiempo. Ellos absorben la radiación solar e infrarroja y disipan parte del calor acumulado a través de procesos de convección y radiación hacia la atmósfera, aumentando la temperatura ambiente, además conducen el calor acumulado hacia el interior del edificio (Santamouris et al., 2011). El rendimiento térmico de los materiales está determinado principalmente por sus características ópticas y térmicas. Las propiedades superficiales que dominan los procesos de transferencia de calor de un material y determinan la capacidad del mismo para mantenerse fresco son albedo y emisividad. El albedo o reflectancia solar, es el porcentaje de la energía solar reflejada por una superficie. Esta propiedad es determinante de las máximas temperaturas en un material (Levinson et al., 2007). La emisividad 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 intercambia calor por radiación (Avdelidis & Moropoulou, 2003). La mayoría de los materiales de construcción

presentan emisividades en el infrarrojo mayores a 0.8 excepto los metales y algunos materiales brillantes que poseen bajas emisividades (Alchapar et al, 2014). La alta capacidad térmica y absorción de los materiales sumada a la extensión de las superficies expuestas, sobre todo por las superficies horizontales (techos y pavimentos), son significativas en el aumento de temperatura en las ciudades (Akbari & Kolokotsa, 2016). La emisión de la energía almacenada se produce con un desfase temporal debido a la inercia térmica de los materiales de construcción. La cantidad de radiación que es reflejada o absorbida por un material en la longitud de onda del espectro solar está determinada principalmente por su nivel de albedo, esta propiedad está influenciada fundamentalmente por el color del material, aunque no de modo excluyente (Alchapar & Correa, 2016). De esta forma, los materiales con colores claros (alto albedo) reflejan una mayor proporción de radiación solar y por lo tanto se mantienen más fríos. Mientras que los materiales con colores oscuros (bajo albedo) absorben más radiación solar y, por ello, elevan más su temperatura superficial. Un cuerpo blanco ideal tiene un albedo del 100% y un cuerpo negro ideal, del 0%.

En un trabajo previo, desarrollado por el equipo de investigación (Alchapar et.al, 2020), se realizó una comparación de materiales de techo de acuerdo a su habilidad para disminuir las temperaturas urbanas. Para ellos fueron evaluados 31 tipos de materiales de techos de tecnología tradicional -membranas y tejas-, en contraste con el comportamiento de una teja con tecnología reciclada de color negro, desarrolladas en el CEVE (Centro Experimental de la Vivienda Económica). Como resultado se demostró que la teja reciclada de color negro presenta un comportamiento intermedio, con niveles de índice de Reflectancia Solar de 51%. Dadas las características intrínsecas del material reciclado, las tejas recicladas presentan amplias posibilidades de mejorar su comportamiento optotérmico mediante la incorporación de materiales reflectivos a su composición, y/o modificar el color de sus pigmentos. Es por ello que, en esta investigación se analizan distintas posibilidades para modificar el color del negro de humo presente en las partículas de caucho de las tejas elaboradas con materiales reciclados desarrolladas en CEVE.

## OBJETIVO

Evaluar distintas posibilidades técnicas para la fabricación de tejas coloreadas a partir de la incorporación de pigmentos en la mezcla de caucho procedente de NFU y PEBD (polietileno de baja densidad) procedente de bidones y caños reciclados, así como también determinar el rendimiento energético asociado a cada técnica. El estudio se estructura en función a dos ejes de análisis:

- A) Fabricación y coloreado de tejas: se analiza cuál de los métodos es el más eficiente para obtener un componente constructivo de acabado homogéneo, utilizando diversos materiales y variando sus dosificaciones.
- B) Propiedades termo-físicas: se compara el comportamiento óptico y térmico de tejas recicladas de color verde en relación a tejas color negro originales.

## METODOLOGÍA DE ENSAYO

Al tratarse de un desarrollo que se encuentra bajo licenciamiento de patente, no se da a conocer la fórmula. A continuación, se detalla una fórmula esquemática:

$$\text{Fórmula original} = \text{caucho (C1)} + \text{polietileno (P1)}$$

Teniendo en cuenta que el objetivo del trabajo es evaluar distintas posibilidades para la fabricación de tejas con color para luego analizar el rendimiento energético, la lógica fue validar escalonadamente los componentes C1 (caucho) y P1 (PEBD) de la fórmula original y además reemplazar y/o agregar otros materiales en diferentes dosificaciones. Estos materiales son:

-PO: pintura y óxidos (verde, azul y amarillo)

-O: óxidos (amarillo, rojo, azul y verde)

-P2: polietileno verde

-MB: masterbatch verde

-C2: caucho verde

-C3: caucho blanco

Las combinaciones fueron implementadas en las siguientes etapas:

- Primera etapa: experimentación con pintura con óxidos.

Se realizó una mezcla de esmalte sintético y óxidos de color rojo, amarillo, verde, y azul se colocó sobre pequeñas probetas elaboradas con la fórmula original.

- Segunda etapa: experimentación con óxidos.

Se añadió a la mezcla original una proporción del 10% de óxidos (amarillo, rojo, verde y azul) del total de la mezcla:

*Fórmula original (C1+P1) + adición de óxido (10% de la suma de C1+P1)*

- Tercera etapa: adición y/o reemplazo de caucho (C2 y C3), polietileno (P2) y masterbatch (MB).

Se modificó la fórmula original añadiendo o reemplazando cantidades de estos materiales en numerosas proporciones que varían de 5 en 5, de 10 en 10, o de un mismo material mitad color original (negro), mitad color blanco o color verde.

Por ejemplo:

$$100\% C1 + 95\% P1 + 5\% P2$$

$$100\% C1 + 90\% P1 + 10\% P2$$

En dos etapas (Tabla 1 y Tabla 2) se elaboraron seis grandes grupos de dosificaciones (cuatro de adición y dos de reemplazo de materiales) que se detallan a continuación:

Tabla 1. Tercera etapa. Parte A: adición de materiales	
Grupo	Materiales componentes
1	C1 (caucho negro) + P1 (polietileno negro) + P2 (polietileno verde)
2	C1 (caucho negro) + P1 (polietileno negro) + MB (masterbatch verde)
5	C1 (caucho negro) + C2 (caucho verde) + P1 (polietileno negro) + P2 (polietileno verde)
6	C1 (caucho negro) + C3 (caucho blanco) + P1 (polietileno negro) + P2 (polietileno verde) + MB (masterbatch verde)

Tabla 2. Tercera etapa. Parte B: reemplazo de materiales	
Grupo	Materiales componentes
3	C1 (caucho negro) + P2 (polietileno verde) + MB (masterbatch verde)
4	C3 (caucho blanco) + P2 (polietileno verde) + MB (masterbatch verde)

La metodología de ensayo consistió en los siguientes pasos:

1. Elaboración de las probetas.
2. Proceso de secado y recorte de rebabas.
3. Observación visual.
4. Escritura de informe.
5. Selección de muestras para ensayos.
6. Análisis de resultados.
7. Propuesta de mejoras.

## PROCEDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN

Se realizó una distinción entre los procedimientos de fabricación y coloreado (Sección A) y caracterización termo-física de las mismas (Sección B):

### A-Fabricación y coloreado de tejas

Se desarrolló un nuevo material en base a desechos urbanos e industriales: caucho proveniente de los NFU y PEBD proveniente de bidones y caños desechados. El componente para cubierta se realiza ligando estos materiales mediante un procedimiento de termo-moldeo con compactación, utilizando un equipo de prensa con temperatura. En una primera instancia, se fabricó una placa de 30 cm. x 30 cm. con la misma mezcla de las tejas.

#### A.1 Primera etapa

Luego se recortaron unas pequeñas probetas de 10 cm. X 10 cm, sobre las cuales se aplicó una mezcla de esmalte sintético blanco con 3 tipos de óxidos: óxido azul, óxido verde y óxido azul. Luego de haber transcurrido 30 días expuestas a la intemperie (Figura 1) se analizó el resultado. Se observa que la probeta verde fue la que más sufrió desgaste, luego la azul y por último la amarilla. Es importante dejar en claro la diferencia

conceptual de albedo y coeficiente de absorción solar. Este último, depende del material indistintamente del color de la terminación mientras que el albedo es el índice de reflexión de la energía solar de una superficie y depende del color. Naturalmente trabajan en conjunto ya que el albedo alto como el amarillo y blanco reflejan más y por tanto evita la absorción de energía solar. Este fenómeno colabora en disminuir el deterioro de la pintura adherida a la superficie de caucho en este caso. Por el contrario, los colores oscuros (verde y azul) que permiten mayor absorción solar generan el contraste de temperaturas en los materiales (caucho y pintura) y provocan mayor desprendimiento.

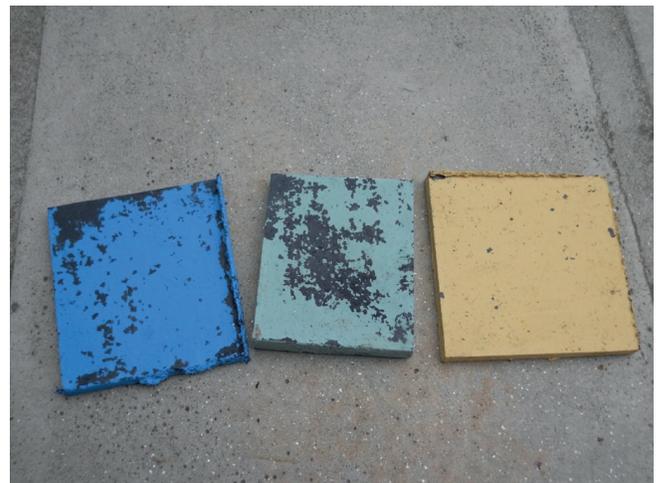


Figura 1. Placas de primera etapa luego de un periodo de exposición a la intemperie.  
Fuente: elaboración propia.

#### A.2 Segunda etapa

Continuando con la experimentación, y teniendo en cuenta que la coloración superficial no fue exitosa, se optó por un nuevo método.

Se evaluaron en total cuatro coloraciones, que se describen en la Tabla 3:

Tabla 3. Nombre común y fórmula química de pigmentos (Fuente: Positieri, 2005).			
Nombre común	Color	Fórmula	Denominación química
Óxido de hierro rojo	Rojo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido férrico
Óxido de hierro amarillo	Amarillo	Fe(OH) <sub>3</sub>	Hidróxido ferroso
Óxido de cromo	Verde	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de cromo
Óxido de cobalto	Azul	Co(Al,Cr) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Aluminato de cobalto

El primer paso fue realizar la mezcla en seco entre el pigmento junto con las partículas de caucho y polietileno hasta lograr el color deseado. Se comenzó con óxido férrico (color rojo), en una proporción del 10% del total de la mezcla.

Siguiendo el mismo procedimiento, también se experimentó con óxido de hierro (amarillo), óxido de cromo (verde) y óxido de cobalto (azul). Se fabricaron las cuatro tejas (Figura 2) a través del proceso de extrusión. En el caso de las tejas roja y amarilla se visualiza un cambio notable de coloración, mientras que en las tejas verde y azul no suceden cambios, ya que el negro del caucho resulta invasivo en estos colores oscuros.



Figura 2. Tejas con óxidos color rojo, amarillo, verde y azul.  
Fuente: elaboración propia.

La incorporación de materiales fríos -con alta reflectividad ( $\alpha$ ) y alta emisividad ( $\epsilon$ ) en las envolventes edilicias resulta una técnica pasiva eficiente para disminuir la demanda de energía para refrigerar en períodos estivales. Mejorando el microclima de las zonas urbanas mediante la reducción de temperaturas superficiales y la del aire ambiente (Santamouris et.al., 2011). Por esta razón, en la siguiente sección se realizan ensayos experimentales con pinturas de color blanca, que a priori, resultan más eficientes.

Siguiendo estas premisas, la tercera experiencia fue elaborar una especie de “caucho blanco”. Es decir, es un Caucho teñido de blanco (Figura 7) con látex acrílico color blanco. Este proceso se realizó de forma manual, envolviendo las partículas de caucho de 2-5 mm en pequeños frascos para luego depositarlos sobre una gran superficie para realizar el secado de manera natural. Esto se dejó 24 horas y luego se procedió a separar algunas partes de la mezcla que durante el secado se habían unido. Una vez terminado esto, se dosificó la cantidad necesaria de materiales para realizar una teja, reemplazando el 100% de caucho negro por este caucho blanco obtenido. El resultado fue una teja oscura (Figura 8), solamente que, con un leve acabado mate, a diferencia de la teja clásica.

### A3. Tercera etapa

A raíz de los fallidos intentos de coloración con óxidos, se decidió probar con otro tipo de pigmentos:

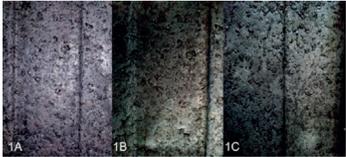
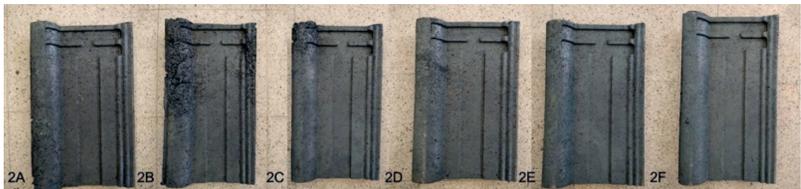
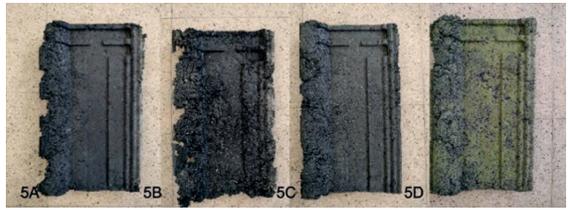
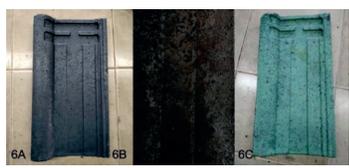
- Caucho color verde en partículas de 2-5 mm (C2)
- Polietileno de alta densidad color verde (P2).
- Masterbatch color verde en pellets (MB)

Además, también se elaboró un caucho teñido de color blanco (C3).

En estos casos, los materiales funcionan como carga, ya que la granulometría es superior con respecto al polvo. El PE verde es de alta densidad, no de baja densidad como se emplea en las tejas de la formula original.

El masterbatch, conocido cotidianamente como master o colorante, es una mezcla concentrada de pigmentos o aditivos dispersados dentro de una resina portadora que se presenta en forma de granza. En la Tabla 4 se detallan las alternativas con estos materiales.

**Tabla 4. Detalle de las dosificaciones según el grupo.**

GRUPO 1	DOSIFICACION (%)					
	C1	P1	P2			
1A	100	95	5			
1B	100	90	10			
1C	100	85	15			
<p>Observaciones: Teja con tonalidad grisácea. Se observa un leve tono verde grisáceo en la última teja, la 1C. Hubo algunos inconvenientes en el llenado de la matriz. La mezcla endurece rápido.</p>						
GRUPO 2	DOSIFICACION (%)					
	C1	P1	MB			
2A	100	95	5			
2B	100	90	10			
2C	100	85	15			
2D	100	80	20			
2E	100	75	25			
2F	100	70	30			
<p>Observaciones: No se observan cambios en la coloración. Únicamente la teja 2F presenta un tono grisáceo.</p>						
GRUPO 3	DOSIFICACION (%)					
	C1	P2	MB			
3A	100	95	5			
3B	100	90	10			
3C	100	85	15			
3D	100	80	20			
3E	100	75	25			
3F	100	70	30			
3G	100	65	35			
3H	100	60	40			
<p>OBSERVACIONES: Estas fueron las que presentaron mejor resultado final. A partir de la dosificación 3C ya la teja fue adquiriendo color verde. En las tejas 3A y 3B el tono final era un gris apenas verdoso</p>						
GRUPO 4	DOSIFICACION (%)					
	C3	P2	MB			
4A	100	80	20			
4B	100	90	10			
<p>OBSERVACIONES: En ambos casos la coloración no fue uniforme.</p>						
GRUPO 5	DOSIFICACION (%)					
	C1	C2	P1	P2		
5A	80	20	100			
5B	100	100	-	100		
5C	90	10	-	100		
5D	90	100	50	50		
<p>OBSERVACIONES: Solamente se obtuvo coloración en la teja 5B y un leve gris verdoso en la teja 5D. En el resto de las tejas el color final sigue siendo negro.</p>						
GRUPO 6	DOSIFICACION (%)					
	C1	C3	P1	P2	MB	
6A		100	100			
6B	100			100		
6C	100				100	
<p>OBSERVACIONES: Solo se obtuvo plena coloración en la teja 6C que contiene la totalidad de la cantidad de PE reemplazada por Masterbatch.</p>						

## B-Comparación del comportamiento opto-térmico de tejas coloreadas verdes y tejas negras

Se contrastó el comportamiento opto-térmico de tejas recicladas coloreadas en verde respecto a las originales en negro. Para ello, se testearon dos unidades muestrales de 1 m<sup>2</sup>, montadas en un bastidor de madera sobre una superficie horizontal de poliestireno expandido de 10 centímetros de espesor, ubicadas 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), de la ciudad de Mendoza (Argentina). El monitoreo se realizó durante dos periodos estivales: desde el 21 de diciembre de 2018 al 09 de febrero del 2019 y desde el 22 de febrero del 2020 al 03 de marzo del 2020.

Para el análisis se seleccionaron los días 3 y 4 de enero de 2019 y 22 y 23 de febrero 2020 por registrar condiciones ambientales estándares. Las características ambientales de los días de medición fueron registradas con una estación meteorológica móvil tipo ONSET Weather, HOBO®, modelo H21 -001. Su rango operativo está entre 253 °K y 323 °K. La estación posee: sensor de temperatura y humedad relativa HOBO S-THB-M002 61, sensor de velocidad del viento HOBO S-WSA-M003, sensor de dirección del viento HOBO S-WDA-M003, piranómetro de silicona HOBO S-LIB-M003 y sensor de presión barométrica HOBO S-BPA-CM10. Para determinar el valor del albedo, se utilizó un albedómetro tipo Kipp&Zonen C3. Éste instrumento registra la radiación solar recibida sobre superficie horizontal y la radiación solar reflejada, de este modo se determina por diferencia, el albedo de cada revestimiento. Para el cálculo de emisividad se empleó un sensor de temperatura de termocupla tipo T asociado a una data logger hobbo U12, el mismo fue programado en registros de medición de temperatura superficial en intervalos de 2 segundos.

El valor del flujo radiante emitido por el material es comparado con el dato que registra un termómetro IR Fluke 568 con ajuste de emisividad. De modo tal que la emisividad del material corresponde a aquella que hace coincidir la temperatura de la termocupla con la del termómetro IR (ASTM International PA, 2014).

La temperatura superficial de las tejas fue monitoreada mediante termocuplas tipo T incorporadas a data loggers tipo LASCAR EL-USB-TC sensando cada 5 minutos. Paralelamente, durante el período de máxima radiación se realizan registros de temperatura superficial con una cámara infrarroja tipo IR Fluke Ti 55.

La conductividad térmica del material se ha despreciado, ya que se trabaja con límite adiabático respecto de la conductividad a tierra (superficie de poliestireno expandido de 10 cm de espesor). Las coordenadas de color RGB se obtuvieron con un colorímetro digital Tipo Color Muse – COLORONE.

Luego de realizar los ensayos bajo condiciones controladas, la Tabla 5 describe las propiedades opto-térmicas obtenidas. Además, se pone de manifiesto que las tejas coloreadas en verde son más eficientes en orden de disminuir las cargas térmicas. Al comparar el rendimiento de las tejas verdes con las negras, se observa que las verdes tienen un nivel de albedo 11% mayor y registran 8.44°C menos en su temperatura superficial.

**Tabla 5. Resultados de las propiedades termo-físicas.**

Características ópticas y térmicas	Verdes R:94, G:109, B:105	Negras R:75, G:78, B:80
Albedo	0.43	0.32
Emisividad térmica	0.85	0.86
Ts prom. °C	25.57	34.01
Ts máx. °C	53.99	67.29
Ts min. °C	7.75	8.64

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En función de los parámetros ejes analizados se arribaron a los siguientes resultados:

### Fabricación y coloreado de tejas

Una vez finalizada estas sucesivas experimentaciones, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Tejas con óxidos: En el caso de aplicar la mezcla de óxido con el esmalte sintético el resultado no fue eficiente ya que posteriormente sufrió un descascamiento. Cuando se incorporaron los óxidos en los cuatro colores, se obtuvo una pigmentación en el caso de las tejas roja y amarilla. Mientras que, en los tonos azul y verde, la diferencia no fue notoria.
- Teja con caucho blanco: Se obtuvo una superficie bastante heterogénea, aunque los resultados no fueron los esperados, ya que se pensó que, si se reemplazaba la totalidad de caucho negro por el blanco, el color iba a variar. En cambio, la mezcla obtenida presentó un color grisáceo.

El cambio fue mucho más notorio cuando se comenzaron a utilizar las combinaciones de caucho, polietileno y masterbatch color verde.

- Tejas GRUPO 1: Al ser el primer grupo, durante el proceso de fabricación se presentaron algunas dificultades. No se observa coloración. La teja 1 C apenas presenta una tonalidad grisácea.
- Tejas GRUPO 2: No se evidencian cambios en las tejas obtenidas. Únicamente la última prueba, la 2F, comienza a visualizarse un leve color gris claro.
- Tejas GRUPO 3: Son las tejas que obtuvieron mejor coloración. Esto se debe a que el polietileno verde aclara la mezcla y luego el masterbatch se encarga de otorgar la coloración mejor. A partir de la tercera teja, la 3C, se visualiza una tonalidad más marcada.
- Tejas GRUPO 4: En ambos casos la coloración fue muy heterogénea.
- Tejas GRUPO 5: Al comenzar el proceso de extrusión, en el caso de la teja 5B, la pasta caliente sale del tornillo y se observan partículas desprendidas de caucho. Las mismas, no quedan envueltas por la mezcla viscosa y se depositan en la matriz, entorpeciendo así el procedimiento de elaboración. En estas partículas se observa una dispersión del color verde. Queda al descubierto la partícula de caucho negro sola, y el color desaparece.
- Tejas GRUPO 6: Las tejas 6A y 6B no presentaron cambios en su color final. En el último caso, la 6C, donde se incorporó el 100% de masterbatch se obtuvo un color verde claro.

Para finalizar, es posible obtener tejas coloreadas a partir de la incorporación de pigmentos. El grupo que obtuvo mejores resultados fue el número 3, donde se mezcla el caucho negro, el polietileno verde y el masterbatch. Se escogió la dosificación de la Teja 3E para fabricar un bastidor de 1 m<sup>2</sup> al cual se le realizaron ensayos de los parámetros de eficiencia energética.

#### Propiedades opto-térmicas

Al comparar el desempeño termo-físicas de tejas recicladas color verde en relación a tejas color negro, se observó un comportamiento más eficiente en las tejas de color verde.

## CONCLUSIONES

Analizando las diferentes experiencias realizadas, se concluye que la formulación más eficiente es el número 3, consistente en caucho negro, polietileno verde y masterbatch. Es la que posee un color más intenso y con menores defectos de heterogeneidad.

A su vez, los valores opto-térmicos registrados, presentan una mejora de índice albedo de un 11% y una disminución de la temperatura superficial de casi 8,5°C, índices que demuestran un mejor comportamiento térmico del elemento constructivo.

Este tipo de componente constructivo fabricado a partir de material reciclado colabora en reducir la contaminación ambiental, y parte de la premisa que hay que cuidar el planeta, evitando su destino final en un basural.

En trabajos futuros se prevé la realización de todos los ensayos de laboratorio sobre esta nueva formulación: densidad, resistencia a la flexión, resistencia al impacto duro, permeabilidad al vapor de agua, absorción de agua, resistencia al fuego y resistencia a los rayos ultravioleta. Con los resultados de estos ensayos se deberá tramitar un nuevo Certificado de Aptitud Técnica ante la Secretaría de Hábitat de la Nación. Eventualmente, serán necesarios ajustes en la formulación para mejorar estos parámetros. Además, se deberán realizar estudios para reducir la emisividad de contaminantes gaseosos, el análisis de ciclo de vida (ACV), entre otros.

Finalmente, se realizará un estudio de costos de producción, se elaborará el modelo de negocios y el diseño del layout de una planta contemplando el escalado del proceso de fabricación, para la transferencia del producto en Córdoba (Argentina).

## BIBLIOGRAFÍA

- Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Alchapar, N., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (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., Sánchez Amono, M., Correa, E., Gaggino, R., & Positieri, M. (2020). Energy-efficient urban buildings. *Thermo-physical characteristics of traditional and recycled roofing technologies*. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(1), 73–83. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000100073>
- Alchapar N, Correa, E. N (2016). Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics, *Construction and Building Materials*, Volume 102, Part 1, Pages 297-305,ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.005>.
- ASTM. ASTM E1933-14 Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. ASTM International, West Conshohocken, PA 5–7 (2014) doi:10.1520/E1933-14.
- Avdelidis, N. P., & Moropoulou, A. (2003). Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, 35(7), 663–667. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00210-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00210-4)
- Directorio de Recicladores plásticos (2020). ECOPLAS Argentina. Disponible en <https://ecoplas.org.ar/2016/wp-content/uploads/2020/04/Directorio-de-Recicladores-Plasticos-Abril-2020.pdf>
- 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.
- Levinson, R., Akbari, H., & Reilly, J. C. (2007). Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Building and Environment*, 42(7), 2591–2605. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.005>
- Positieri, M. J. (2005). *Propiedades Fisicomecánicas y Durabilidad del Hormigón Coloreado*. Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Córdoba. (PhD tesis).
- Regomax, 2020. Recuperado de <http://regomax.com/>.
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>