

Diseño de material de construcción de caucho reciclado en base a sus prestaciones higrotérmicas

Design of recycled rubber construction material based on its hygrothermal performance

Halimi Sulaiman¹ , Belén Constantini² y Lucas Peisino¹ .

1. Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) – CONICET-AVE, Córdoba, Argentina.

2. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

hsulaiman@ceve.org.ar, belen.costantini@unc.edu.ar, lpeisino@ceve.org.ar

RESUMEN

Ante la inflación y los altos costos energéticos en Argentina, se necesitan tecnologías constructivas eficientes. Este estudio explora mezclas de caucho reciclado y poliuretano para envoltentes opacas edilicias. Se evaluaron dos configuraciones: caucho como agregado en espuma bicomponente y como base con espuma como aglomerante. Se realizaron ensayos de conductividad térmica y densidad aparente. Posteriormente fueron seleccionadas dos composiciones para muros y techos no portantes y se evaluaron según la Certificación de Aptitud Técnica (CAT) de Argentina, cumpliendo con el Nivel B de eficiencia según la Norma IRAM 11605 en las zonas más pobladas del país. Además, se propusieron sistemas constructivos aplicables en localidades con temperaturas de diseño de invierno de hasta -5°C y en todas las zonas bioclimáticas del país durante el verano. Los resultados incluyen la caracterización térmica e higrotérmica de los materiales y sistemas, así como beneficios, limitaciones y futuras líneas de investigación sobre su aplicación constructiva.

ABSTRACT

Due to inflation and high energy costs in Argentina, efficient construction technologies are needed. This study explores recycled rubber and polyurethane mixtures for opaque building envelopes. Two configurations were evaluated: rubber as aggregate in bicomponent foam and as a base with foam as binder. Thermal conductivity and apparent density tests were conducted. Two compositions were selected for non-load-bearing walls and roofs, assessed according to Argentina's Technical Suitability Certification (CAT), meeting Level B efficiency under IRAM 11605 in the country's most populated areas. Construction systems were proposed for locations with winter design temperatures down to -5 °C and for all bioclimatic zones in summer. Results include thermal and hygrothermal characterization of the materials and systems, as well as benefits, limitations, and future research lines regarding their construction application.

PALABRAS CLAVE: caucho reciclado en construcción, conductividad térmica, eficiencia energética, transmitancia térmica.

KEYWORDS: energy efficiency, recycled rubber in construction, thermal conductivity, thermal transmittance.

FECHA DE RECEPCIÓN: 10/06/25 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 04/07/25

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el consumo intensivo han provocado una acumulación crítica de residuos, generando uno de los mayores desafíos ambientales actuales. Según What a Waste 2.0 del Banco Mundial (Kaza et al., 2018), se producen anualmente 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales al menos un 33 % no recibe tratamiento adecuado. En Argentina, el caso de los neumáticos fuera de uso (NFU) es significativo: se generan más de 130.000 toneladas al año, con 40.000 concentradas en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), y menos del 10 % se recicla (ANCEFN, 2019). Estos residuos suelen terminar en basurales o ser quemados, liberando gases contaminantes, lo que representa un riesgo ambiental y sanitario. Desde 2009, la Provincia de Córdoba tiene la Ley 9624 (2009) que prohíbe la quema y deposición no autorizada. Los NFU tardan hasta 600 años en degradarse, son inflamables, y favorecen la proliferación de vectores como se observa en la Fig. 1. A nivel internacional, países como España, Suiza o México han avanzado en políticas de reciclado (UN Environment, 2019).



Figura 1. Depósitos de cubiertas desechadas en los campos y basurales.

Fuente: E. propia.

En Argentina, pese a iniciativas privadas como la planta Regomax que recicla 12.000 toneladas por año, aún no se ha implementado una Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), pendiente de tratamiento en Diputados, que asignaría a fabricantes e importadores la gestión ambiental de sus productos. Paralelamente, la demanda de sistemas constructivos más eficientes ha impulsado el desarrollo de tecnologías livianas e industrializadas, junto con la revalorización de técnicas tradicionales como la quincha mejorada. Una tendencia en crecimiento es el uso de residuos como materia prima en materiales de construcción, por su bajo costo y potencial de valorización local. En España, el Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Urbano (2016) desarrolló placas termoacústicas con caucho y resina termoformante, y bloques estructurales con caucho y cemento. Estos avances destacan la versatilidad del caucho reciclado, adaptable a distintos formatos mediante procesos como la vulcanización.

La arquitectura contemporánea explora el uso del caucho reciclado por su versatilidad formal, como muestran proyectos internacionales que lo incorporan en fachadas curvas o lisas (Bentham Crouwel Architects, 2014; Atelier of Architects, 2016; Dethier Architecture, 2013). En Argentina, su aplicación se limita a pisos y baldosas, mediante procesos industriales que emiten GEI. Como alternativa, el CEVECONICET desarrolló una teja para cubiertas hecha con caucho y plástico reciclado, con una conductividad térmica de $0,33 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, destacando su potencial como aislante en envolventes edilicias (Berretta et al., 2008; Gaggino et al. 2016; 2018; Sánchez et al., 2021).

En conclusión, el reciclado de NFU y su incorporación en materiales de construcción contribuyen significativamente a la reducción del impacto ambiental y al desarrollo de soluciones eficientes, adaptadas a condiciones locales. Sin embargo, para que estas tecnologías logren una adopción masiva y sostenida, es fundamental avanzar en políticas públicas claras, marcos normativos sólidos y un compromiso real del sector productivo.

OBJETIVOS

El presente artículo desarrolla y evalúa el material de caucho reciclado y poliuretano en diferentes proporciones para luego proponer sistemas constructivos de cerramiento (placas y/o mampuestos) con alta prestaciones térmicas de fácil construcción para muros y/o tabiques, sin incorporar en el proceso de fabricación, ni calor ni presión.

Esta investigación se enmarca en el proyecto de carrera CONICET titulado *Hábitat sustentable: Desarrollo, integración y optimización de soluciones técnico-arquitectónicas en diferentes climas argentinos. El objetivo general del proyecto es alcanzar una alta eficiencia económico – energética en la integración de tecnologías bioclimáticas y convencionales de climatización desarrollando nuevas alternativas de diseño arquitectónico, tecnologías de construcción y colectores solares calentadores de aire para calefacción, garantizando el confort higrotérmico en proyectos de viviendas de alto potencial de ahorro energético mediante la optimización de sus diseños por simulación computacional.*

El presente trabajo corresponde a los siguientes dos objetivos específicos del proyecto marco: Desarrollar y evaluar termo-energéticamente nuevos materiales de construcción (bloques, paneles y revestimientos termo-aislantes para paredes, pisos y cielorrasos y cubiertas). Desarrollar nuevos sistemas constructivos eficientes energéticamente y competitivos en el mercado nacional, tanto con materiales disponibles en el mercado, como con nuevos materiales no convencionales, incorporando en la optimización por simulación desarrollos nuevos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de los Materiales

Esta investigación propone el desarrollo tecnológico de un material compuesto a base de caucho reciclado, como se observa en la Figura 2, para su aplicación en diferentes componentes constructivos para muros y losa. Este material es un polímero elástico a base de isopreno, 1,3-butadieno, cloropreno (2-cloro-1,3-butadieno) y/o isobutileno, en la actualidad se utilizan mezclas de los mencionados monómeros para su fabricación. A su vez, se incorporan diversos aditivos para obtener las propiedades deseadas en función del uso específico para el cual este diseñado un producto elaborado de caucho, dentro de los más utilizados en los neumáticos se encuentran el negro de humo, óxido de zinc y azufre, entre otros. El caucho triturado proveniente de NFU tiene un tamaño de partícula de 3 mm y una densidad aparente de 405 kg/m³.



Figura 2. Caucho triturado marca RIC con la cual se realizaron las probetas.

Fuente: E. propia.

Se utilizó como ligante la resina poliuretánica bicomponente RUBITHERM 14404, un polioli en combinación con el RUBINATE 5005, base *methylene diphenyl diisocyanate* por sus siglas en inglés MDI,

diseñada para la fabricación de espumas de poliuretano en paneles mediante la técnica de inyección en prensa. La resina posee una viscosidad a 25°C de (200 ± 100) mPa·s y una densidad de 118000 kg/m³. La reacción de polimerización ocurre a temperatura ambiente. Con esta resina se obtiene una espuma de poliuretano con una densidad promedio entre 24-28 kg/m³.

Preparación y propiedades de las probetas

En la ejecución de las muestras se empleó el caucho triturado proveniente de NFU en diferentes porcentajes, aditivado con diferentes porcentajes de resina poliuretánica bicomponente como material aglomerante. En la Tabla 1 se presentan las diferentes formulaciones de las probetas. Se elaboraron probetas cilíndricas de 110 mm de diámetro y 100 mm de altura para el ensayo de conductividad térmica mediante el método de la aguja (Norma ASTM D-5334). Las mismas se llevaron a cabo mediante la siguiente metodología y las respectivas formulaciones se encuentran descritas en la Tabla 1.

Proceso de elaboración:

- Se colocó el caucho triturado en una batidora en diferentes porcentajes.
- Se preparó en otro recipiente una mezcla de poliol (RUBITHERM 14404) y el isocianato (RUBINATE 5005) mientras se bate a mano enérgicamente durante 5 minutos, con el objetivo de realizar una adecuada activación de la misma.
- Luego se adiciona la resina poliuretánica ya activada al caucho dentro de la batidora, y se homogeneiza mediante una mezcla enérgica durante 5 minutos.
- La mezcla fue vertida en un molde cilíndrico y luego permaneció en reposo a presión atmosférica y temperatura ambiente (25°C) por un lapso de 48 horas con el fin de que solidifique la probeta.
- Por último, las muestras se desmoldaron y se mantuvieron a temperatura y humedad ambiente.

Medición de Conductividad térmica

La medición de conductividad térmica (CT) de las muestras se llevó a cabo a través del método dinámico descrito en la norma *Standard method penetration test* ASTM D-5334 (ASTM; 2007), que permite determinar eficientemente el coeficiente de conductividad térmica (λ) de materiales heterogéneos a través de la inserción de un sensor de aguja de una termocupla y una fuente de calor en la misma.

Calibración

Se realiza la calibración del equipo con la norma, la cual presenta el procedimiento de cálculo que determina la conductividad térmica en suelos, rocas y otros materiales, estableciendo valores de conductividad térmica que luego se comparan con valores de conductividad de materiales con propiedades conocidas. En este caso Agua destilada ($0,607\pm 0,03$) W/mK y Glicerina líquida ($0,292\pm 0,003$) W/mK, admitiendo una variación estándar.

Determinación de la Conductividad térmica del material

La conductividad térmica (CT) de un material es la capacidad que tienen el mismo de conducir calor, esta propiedad depende de varios factores, tales como difusividad térmica, el calor específico y la densidad. Además, hay otros parámetros que no son menos importantes tales como la porosidad, la relación de vacíos de las muestras, la masa, entre otros.

Para definir el CT es fundamental conocer la densidad siendo uno de los factores más influyentes. Por ello se realizó un grupo de probetas de densidades diferentes para medir los resultados.

Medición

El ensayo consiste en la inserción de un sensor de aguja simple marca EAST-30 de acero inoxidable de 1 mm de diámetro y 60 mm de longitud en la muestra, expuesto en Figura 3. En su interior la aguja contiene un hilo Evanohm que se calienta durante el ensayo, a través de la aplicación de corriente eléctrica. Tiene incorporada además una termocupla de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión, que se monitorea con un multímetro durante 90 segundos, periodo que dura el ensayo, detectando las variaciones de temperatura que sufre la aguja durante el periodo de calentamiento como se observa en Fig. 3. Durante el ensayo se mantuvo la temperatura y la humedad ambiente controladas en 24°C y 50% respectivamente.

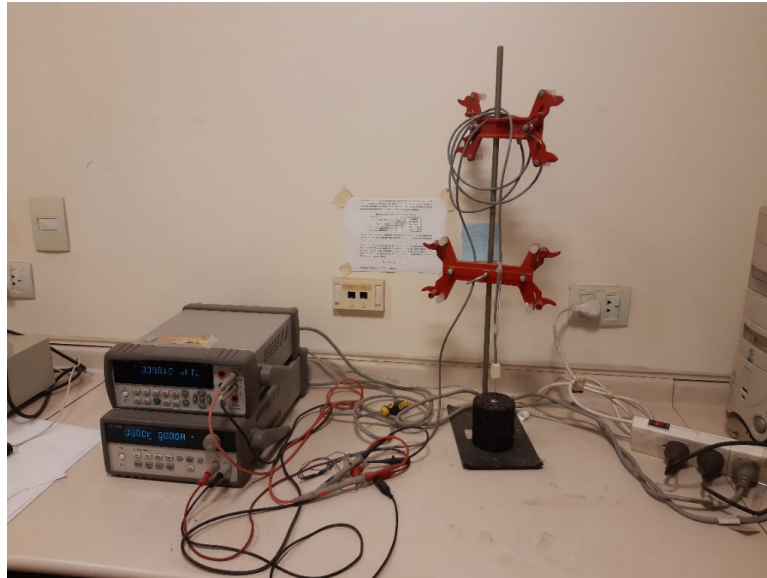


Figura 3. Medición de conductividad con el sensor de aguja.

Fuente: E. propia.

Proposición de materiales y sistemas constructivos

Una vez obtenidos los datos de conductividad y determinado el valor de permeabilidad a utilizar según norma IRAM 11601, 11603, 11604, 11605, 11625, se procede a proponer los sistemas constructivos. Las normas IRAM responden a las exigencias y parámetros de las Normas ISO correspondientes.

Criterios de diseño

Los criterios de diseño abarcan los siguientes aspectos: morfológicos, estructurales, higrotérmicos y grado de dificultad en construcción:

1. Responden a las exigencias de la norma IRAM 11605 Nivel B para todas aquellas localidades que presenten la temperatura exterior de diseño -5°C .
2. Verifica el riesgo de condensación superficial e intersticial de acuerdo a lo establecido en la Norma IRAM (vigentes) N° 11603 (versión año 2012) y en la Norma IRAM N° 11625 (versión año 2000).
3. Reciclar el mayor porcentaje de residuo (NFU) posible.
4. Puede ser elaborado en condiciones de presión, temperatura y humedad ambiente.
5. Permanece sólido en el momento de la manipulación, colocación, transporte y funcionamiento.
6. El mampuesto puede ser manipulado por operarios sin requerimiento de fuerza intensiva.
7. Los mampuestos son similares morfológicamente a los de la construcción convencional para envoltentes no portantes horizontales y verticales.

8. La elaboración se lleva a cabo con escaso instrumental y capacitación mínima.

Se propone su uso como mampuesto y bloque de losa. Se calcula la transmitancia térmica y verificación a las condensaciones que exige la Certificación de Aptitud Técnica (CAT) Nacional Argentino, cumpliendo el Nivel B de eficiencia de muros (Norma IRAM 11605) en las zonas más pobladas del país y por tanto que concentran en cantidad NFU. Se propone diseñar sistemas constructivos que respondan a dicho nivel en todas aquellas localidades que presenten como temperatura de diseño exterior hasta -5°C de invierno y todas las zonas bioclimáticas de Argentina para verano.

Determinación de transmitancia térmica y verificación a las condensaciones

Para los cálculos se utiliza el programa de cálculo de transmitancia térmica y verificación de condensación superficial e intersticial del Centro de Estudios de Energía y Medioambiente de UNT (Gonzalo, 2003).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente apartado se analizan los siguientes resultados de material, diseño y verificación higrotérmica de sistemas constructivos.

Características estructurales de las muestras



Figura 4. Imagen de muestras de A3, A2 y A1.

Fuente: E. propia.

En la figura 4 las muestras denotan una diferencia significativa en aspectos como granulometría, color y densidad. Se logró utilizar la espuma bicomponente (material altamente aislante) como aglomerante de caucho triturado de NFU. A3 presenta una estructura algo esponjosa y firme sin pérdida de partículas por desgranamiento, mientras que A2 y A1 son considerablemente más rígidas y livianas.

La Figura 5 presenta un resultado tipo, donde puede observarse el incremento de temperatura provocado por el calentamiento de la aguja en función del tiempo y el sector de la curva utilizado para aproximar la solución teórica a los resultados experimentales, siguiendo los lineamientos sugeridos en la norma ASTM D 5334. A partir de los cambios de temperatura en función del tiempo, se realiza un análisis inverso para calibrar la solución de la ecuación de flujo de calor axisimétrico y así determinar la

conductividad térmica del material que rodea la aguja. El tiempo de monitoreo de temperaturas oscila entre los 60 y los 120 segundos, durante el cual se debe cuidar que el incremento de temperatura del sensor no supere los 3°C. Todos los ensayos se efectúan en condiciones controladas de temperatura y humedad de 24°C y 50%, respectivamente. Cada ensayo se repitió un mínimo de 6 veces, y luego se adopta como valor representativo el promedio de las mediciones.

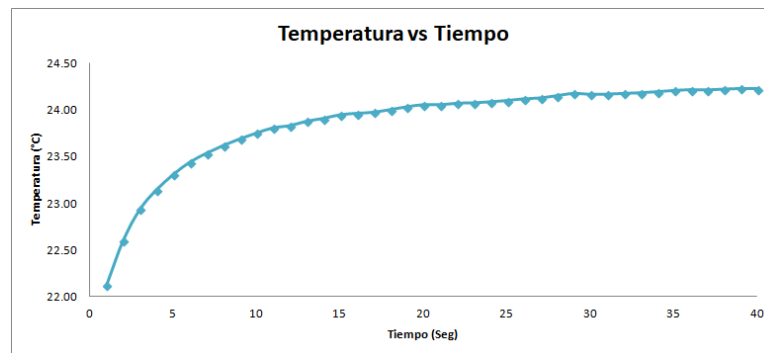


Figura 5. Curvas de CT.

Fuente: *Elaboración propia.*

La tabla 1 muestra los resultados de los análisis y mediciones realizadas. Se detallan los porcentajes de cada uno de los componentes de las probetas, a su vez se presentan los valores de densidad (ρ) y CT (λ) determinados. Las probetas A3 y A4 cumplen con los criterios de diseño propuestos en cuanto a conductividad térmica y densidad. Se destaca la baja variación de conductividad térmica entre las composiciones de las probetas ($\approx 0,03$ W/(m.K)) a pesar de la diferencia diametralmente opuesta en cuanto a los porcentajes resina y caucho en su composición.

Mientras que A1 alcanza valores excepcionales en cuanto a la densidad aparente (20 kg/m^3) y conductividad térmica ($0,10 \text{ W/mK}$), la incorporación del caucho A2 y A3 impacta significativamente en el peso específico, con un aumento de un 500% y 725% en A2 y A3 respectivamente. No obstante, el aumento del valor de Conductividad térmica apenas es un 30%, manteniendo una alta performance térmica. Complementariamente, es válido considerar para su comparación, la conductividad térmica del caucho medida por la Norma IRAM 11601 (1996), donde este valor es idéntico al medido en las muestras A2 y A3 para una densidad aparente de 1300 Kg/m^3 . Cabe destacar que la norma nacional no ha sido actualizada y tampoco aclara si el caucho es compacto o no. Por otra parte, en Sulaiman et al. 2019 se publicó el análisis del comportamiento higrotérmico de la teja de caucho y polietileno donde la conductividad del nuevo material, mediante el método de placa caliente (IRAM 11559) alcanza un valor de $0,33 \text{ W/Mk}$.

Tabla 1. Formulación y propiedades de las diferentes probetas elaboradas.

Muestra	Resina (%)	Caucho (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m·K))
A1	100	---	20	0,10
A2	80	20	100	0,13
A3	17	83	145	0,13
A4	9	91	167	0,15

Fuente: E. propia.

Proposición de Sistemas Constructivos

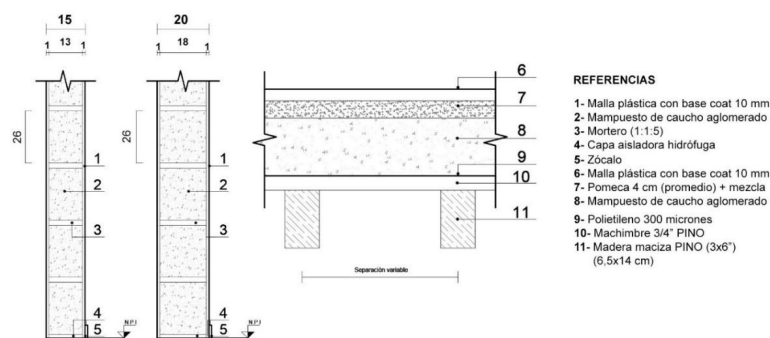


Figura 6. Detalles constructivos de muros con A3 (izq.), A4 (der.) y de cubierta liviana (arriba).

Fuente: Elaboración propia.

Se analizan alternativas de muros y cubiertas sencillos, considerando los resultados de conductividad de las muestras A3 y A4, donde la espuma se utiliza como aglomerante. En este caso el cálculo de transmitancia térmica y la verificación al riesgo de condensación se utiliza como herramienta de diseño. Dada la baja densidad aparente del material en comparación con la mampostería convencional como el caso de ladrillo macizo de 1800 kg/m^3 por ejemplo se calculan envolventes verticales de 0,15 de espesor con el fin de cumplir con los criterios de diseño propuestos detallados en la figura 6.

Determinación del coeficiente de Transmitancia Térmica (K)

Para realizar los cálculos se tomó como referencia el prototipo de la Figura 6 considerando un muro no portante de material reciclado con revoque de base coat con su respectiva malla en ambas caras, multicapa con aislación y cubierta liviana detallado en Tabla 3. Se destaca los parámetros Zona IIIa expuesto en la Tabla 4.6 de la Norma IRAM 11603:2012 Córdoba AERO: la temperatura exterior de diseño es de -5°C y la humedad relativa exterior de diseño es 67%.

El K_{max} admisible corresponde a la Tabla 1 de la norma IRAM 11605:1996. Para una $TED = -5^\circ\text{C}$, los K_{max} admisibles son para los niveles A $= 0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$; B $= 0.83 \text{ W/m}^2\text{K}$; y C $= 1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$. Las resistencias térmicas superficiales (R_s) son de la Tabla 2 de la norma IRAM 11601:2002. En el invierno, para un flujo de calor ascendente, corresponde un $R_{\text{sinterior}} = 0.13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ y un $R_{\text{s exterior}} = 0.04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Argentina presenta una importante cantidad de población en su mayoría en la zona bioclimática III, clima templado cálido. Muchas capitales de provincia se encuentran en este tipo de clima. Según IRAM 11603 (2012) los veranos son calurosos con temperaturas medias entre 20°C y 26°C , con máximas medias mayores que 30°C . El invierno es templado con valores medios entre 8°C y 12°C , y mínimos rara vez menores que 0°C . Subzona IIIa: amplitudes térmicas mayores que 14°C . Subzona IIIb: amplitudes térmicas menores que 14°C . La Tabla 2 presenta un resumen de los valores que se procura cumplir.

Tabla 2. Requerimientos invierno y verano y verano con color según Norma IRAM 11605.

Requerimientos	Temperatura exterior	Nivel	Invierno	Verano	V. con color
Buenos Aires	$> 0^\circ\text{C}$	A	0,38	0,45	0,72
		B	1,00	1,10	1,50
		C	1,85	1,80	2,40
Córdoba	-5°C	A	0,31	0,60	0,72
		B	0,85	1,25	1,50
		C	1,45	2,00	2,40

Fuente: E. propia.

Sistemas constructivos propuestos con A3

Tabla 3. Sistemas constructivos propuestos.

Mampuesto con revoque plástico Capas	Espesor m	Conductividad W/m.K	Peso específico Kg/m ³	Permeancia Kg/m ² .h.Kpa
1- Basecoat con membr.	0,009	0,470	1450	0,810
2- Caucho aglomerado A3	0,130	0,130	146	0,0013
3- Basecoat con membr.	0,009	0,470	1450	0,810
Calculated U-value	0,828			

Multicapa con aislación Capas	Espesor m	Conductividad W/m.K	Peso específico Kg/m ³	Permeancia Kg/m ² .h.Kpa
1- Basecoat con membr.	0,009	0,470	1450	0,810
2- Caucho aglomerado A3	0,080	0,130	146	0,0013
3- EPS	0,050	0,004	15	0,001
4- Caucho aglomerado A3	0,080	0,130	146	0,0013
5- Basecoat con membr.	0,009	0,470	1450	0,810
Calculated U-value	0,067			

Cubierta liviana Capas	Espesor m	Conductividad W/m.K	Peso específico Kg/m ³	Permeancia Kg/m ² .h.Kpa
1- Machimbre madera ¾"	0,019	0,140	450	0,330
2- Caucho aglomerado A3	0,18	0,130	146	0,0013
3- Hormigón alivianado con perlita	0,100	0,960	800	0,0220
Calculated U-value	0,557			

Fuente: Elaboración propia.

El mampuesto con revoque plástico y la cubierta liviana cumplen con el nivel B de la norma. La configuración multicapa es excesivamente aislante con un U-value de 0,067, aunque sería una excelente opción para climas exigentes como los patagónicos y de alta montaña.

CONCLUSIONES

Los objetivos de la investigación han sido cumplidos. El nuevo material propuesto ha sido ensayado en laboratorio en diferentes dosificaciones y medido en sus propiedades térmicas, densidad aparente y luego se han propuesto criterios que debe cumplir la envolvente y se han propuesto cerramientos verticales y horizontales simples con el objetivo de no incorporar complejidad y así utilizar mano de obra convencional. Se destacan los resultados de A3 y A4 que presentan condiciones térmicas suficientes para diseñar envolventes sin requerir de aislaciones adicionales para cumplir con las normas vigentes en las zonas más pobladas de Argentina.

Los resultados de las propiedades térmicas junto con el peso específico y la ausencia de desgranamiento del material de las composiciones de A3 y A4 son prometedores. En el futuro se prevé realizar propuestas de otros sistemas constructivos y realizar los ensayos mecánicos correspondientes a las normas nacionales, como son los de golpe, aplastamiento, desplazamiento, etc. Complementariamente hacer la estimación de costos, ya que el principal material es caucho reciclado de NFU es muy económico y la construcción de mampuestos/bloques propuesta no requiere procesos de consumo energético significativos, ya que evita procesos de fundición y prensado del material. Se está trabajando en el molde de los mampuestos y bloques de losa en función de optimizar las proporciones considerando dimensiones estándares de bloques de hormigón y cerámicos al igual que de losa como se utiliza en Argentina. De este modo sería más factible su inserción en el mercado de manera masiva. En esta línea es factible de realizar el análisis de costos en la próxima etapa. Los futuros ensayos se focalizarán en A2, A3 y

A4, el primero porque su compacidad y rigidez lo posicionan como un reemplazo válido del EPS como material placa aislante en construcción y A3 y A4 porque la proporción de residuo en su mayoría los convierten en mampuestos o bloques de losa prácticamente de residuo con el significativo triple impacto (ambiental, social y económico) en consecuencia que se podría lograr, en especial en dar una respuesta al déficit habitacional estructural que presenta el país y la región desde hace décadas.

AGRADECIMIENTOS

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas físicas y Naturales, I.M.P.A.S., Grupo de Investigación en Medios Porosos y Aguas Subterráneas.

REFERENCIAS

- Academia de Ciencias Exactas Ciencias. (2019). *ANCEFN. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Los residuos que generamos. Su gestión sustentable, un gran desafío*. Recuperado de <http://www.ancefn.org.ar/user/FILES/PUBLICACIONES/LOS%20RESIDUOS%20WEB.pdf>
- Argentina: se encamina la sanción del proyecto de Ley de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). (2022, 14 de julio). *Utopía Urbana*. <https://utopiaurbana.city/2022/07/14/argentina-se-encamina-la-sancion-del-proyecto-de-ley-de-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>
- Berretta, H., Gatani, M., Gaggino, R., & Argüello, R. (2008). *Ladrillos de plástico reciclado: una propuesta ecológica para la vivienda social*. Buenos Aires.
- Casa vacacional de goma / Benthem Crouwel Architects. (2014, 31 de julio). *Plataforma Arquitectura*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. <https://www.archdaily.com/531983/rubber-holiday-home-benthem-crouwel-architects>
- Centro de Dinámica de Grupos y Análisis Institucional de Lieja / Dethier Architectures. (2013, 6 de agosto). *Plataforma Arquitectura*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. <https://www.archdaily.com/784766/1042ucd-saengthai-rubber-headquarter-atelier-of-architects>
- Gaggino, R., Kreiker, J., Filippín, C., Sánchez Amono, M. P., González Laría, J., & Peisino, L. E. (2018). Comparación exhaustiva de las propiedades térmicas y físico-mecánicas de las tejas de caucho y plástico reciclados frente a las tejas fabricadas con diferentes materiales tradicionales. *Avances en Ingeniería Civil*, 2018, Artículo ID 7361798, 11 páginas. <https://doi.org/10.1155/2018/7361798>
- Gaggino, R., Kreiker, J., Peisino, L. E., Sánchez Amono, M. P., Larí, J. G., Argüello, R., Positieri, M. J., & Baronetto, C. (2016). Del neumático al techo. *Revista Obras y Protagonistas*, 243(3), 19–21.
- Gonzalo, E. (2003). *Manual de arquitectura bioclimática*. Nobuko SA.
- IRAM. (1996). *Norma 11603: Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM. (2001). *Norma 11604: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM. (2002). *Norma 11605: Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM. (2004). *Norma 11659-1: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM. (s.f.). *Norma 11559: Determinación de la resistencia térmica y propiedades conectadas en régimen estacionario. Método de la placa caliente*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *Qué desperdicio 2.0: Una visión global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- LEY N° 9624. (2009). Provincia de Córdoba. Prohibición en el Territorio Provincial de la Quema y Depósito de Neumáticos Deteriorados y en Desuso en Lugares no Autorizados. <http://web2.cba.gov.ar/web/leyes.nsf>.
- ONU Medio Ambiente. (2019). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial – GEO-6: Planeta sano, gente sana*. Nairobi. <https://doi.org/10.1017/9781108627146>
- Regomax. (2019). *Caso: Regomax. La validación de nuestros procesos a carga del INTI nos da la tranquilidad y la confianza de saber que los procesos que tenemos son correctos para seguir aumentando nuestra capacidad de producción*. <https://www.inti.gob.ar/hechoeninti/regomax>
- Sánchez Amono, M. P., Sulaiman, H., & Gaggino, R. (2021). Tejas de caucho y plástico reciclado: análisis de sus propiedades optotérmicas. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, Facultad de Diseño y Centro de Investigaciones de la Facultad (CIFAR), Universidad Católica de Colombia.
- Sede Saengthai Rubber / Taller de Arquitectos. (2016, 4 de abril). *Plataforma Arquitectura*. Consultado el 5 de septiembre de 2022. <https://www.archdaily.com/411334/liege-centre-for-group-dynamics-and-institutional-analysis-dethier-architectures>
- Sulaiman, H., Sánchez, M. P., Gaggino, R., & Oga Martínez, L. (2019). Evaluación térmico-energética de un prototipo de vivienda sustentable con materiales reciclados. *III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles*, Santa Fe, Argentina.