

CAPACIDADES MECÁNICA, TÉRMICA Y ACÚSTICA DE UN COMPONENTE CONSTRUCTIVO A BASE DE CARTÓN CORRUGADO DE DESECHO

Burgos, Samira S.; Di Bernardo, Álvaro; Jacobo, Guillermo J.
ssbusp@gmail.com

Cátedra Estructuras II, FAU-UNNE

*MECHANICAL, THERMAL AND ACOUSTIC
CAPABILITIES OF A CONSTRUCTION
COMPONENT BASED ON WASTE
CORRUGATED CARDBOARD*

KEYWORDS

Circular economy, reuse; technology.

ABSTRACT

The results of the mechanical, thermal and acoustic tests of a "Type Construction Component" that incorporates, as the core of the panel, multilayers of corrugated cardboard recovered from MSW are presented in this article. These tests made it possible to realize that successive layers of corrugated cardboard would not collaborate structurally with two joint plates of phenolic plywood in components subjected to bending. On the contrary, the thermal and acoustic tests allowed us to recognize a huge potential in these two variables. The results obtained allow us to imagine possibilities for this waste material that give it significant construction value as a possible substitute for other construction materials.

PALABRAS CLAVE

Economía circular; reutilización; tecnología.

RESUMEN

Se exponen los resultados de los ensayos mecánicos, térmicos y acústicos de un "Componente Constructivo Tipo" que incorpora, como alma del panel, multicapas de cartón corrugado recuperado de los RSU. Estos ensayos permitieron dar cuenta de que sucesivas capas de cartón corrugado no colaborarían estructuralmente con dos placas conjuntas de contrachapado fenólico en componentes sometidos a flexión. Contrariamente, los ensayos térmicos y acústicos permitieron reconocer un enorme potencial de aislamiento en estas dos variables. Los resultados obtenidos permiten imaginar posibilidades para este material de descarte que le otorgan un valor constructivo significativo como posible sustituto de otros materiales de la construcción.

DOI: <https://doi.org/10.30972/adn.117318>

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se encuadra dentro de una Beca de Investigación de Pregrado de la Secretaría General de Ciencia y Técnica (SGCyT) – UNNE, desarrollada en el período 2021-2022. Se presentan los avances alcanzados en el estudio de las potencialidades que tiene el cartón corrugado recuperado de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para su utilización en la conformación de componentes constructivos para el hábitat. Un recurso abundante en el Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR), donde, según estimaciones¹, se desechan cerca de 2000 toneladas al mes con una tasa de recuperación superior al 40 %, producto de las políticas implementadas por el Municipio de Resistencia y de los esfuerzos particulares de recuperadores urbanos y centros de clasificación familiares que lo utilizan como un medio de subsistencia (Burgos, 2022). Si bien la provincia del Chaco se posiciona en el NEA como una referente en la recuperación de residuos potencialmente reciclables, respecto de las acciones llevadas a cabo por las provincias de Misiones, Corrientes y Formosa (MAyDS, 2016), no cuenta con plantas de reciclaje que le puedan otorgar un nuevo uso a este recurso. Por tal

motivo, el 100 % de este volumen de cartón recuperado se comercializa y envía a otras plantas de reciclaje del país. En este marco, es objetivo del trabajo indagar en posibles formas de reuso del cartón corrugado, como alternativa al reciclaje, que puedan agregarle valor a este recurso y colaboren con la distribución de renta de manera local.

Asimismo, se aboga por una solución constructiva sustentada en la reutilización inteligente del residuo cartón, que permita sustituir algunos materiales tradicionales utilizados en la construcción, como el poliestireno expandido, la lana de vidrio, el poliuretano proyectado, entre otros. Para ello, el trabajo se posiciona desde la noción de Economía Circular (EC), un enfoque alternativo que es restaurador o regenerativo por intención y diseño (Ellen MacArthur Foundation, 2013), en donde el residuo adquiere un papel dominante, al sustentarse

en la reutilización inteligente del desperdicio, como sustituto al uso de materias primas vírgenes, en un flujo cíclico (Sauvé *et al.*, 2016). De esta manera, se concibe el cartón desechado no como un residuo, sino como materia prima “alimentaria” para producir tecnologías alternativas para el hábitat con un mínimo gasto energético, reducción de residuos y minimización de emisiones de gases productores de efecto invernadero sobre el medio ambiente. Así, al tiempo que se busca alargar la vida útil del material cartón, con sus consecuentes beneficios ambientales, se pretende diseñar una alternativa constructiva viable desde lo tecnológico-constructivo, energéticamente eficiente y económicamente accesible.

En términos generales, la idea del sistema constructivo que se formula desde este trabajo se basa en un conjunto de paneles prefabricados livianos que puedan ensamblarse en

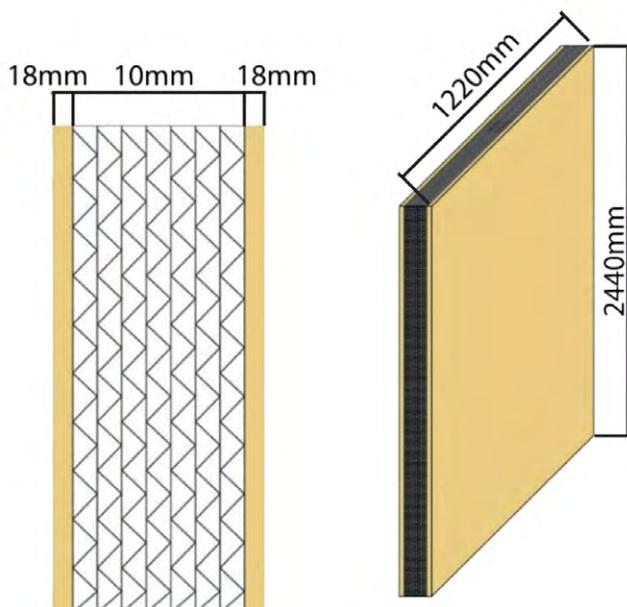
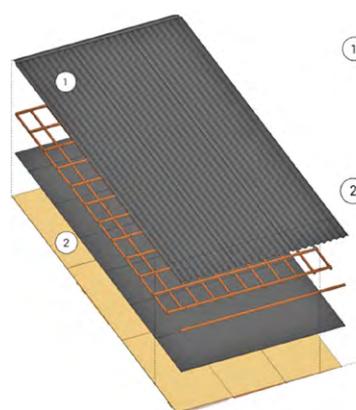


Figura 1. Axonométrica y detalle constructivo del CCT
Fuente: elaboración propia

1. Estimación realizada a partir de un promedio diario de 0,87 kg de desecho por habitante en el AMGR, que alcanza un total diario de 477 toneladas de residuos (Gobierno del Chaco, 2021), de los cuales el 14 % lo conforman papeles y cartones, o sea, 67 toneladas diarias o 2070 toneladas al mes (PGIRSU, 2012).



Figura 2. Posibles combinaciones con otros materiales en pared (arriba) y techo (abajo)



- ① **Cubierta**
 - Chapa Ondulada Galvanizada N°25
 - Listón 1" x 2" (Clavadera de Chapa)
 - Listón 2" x 1/2"
 - Film de Polietileno Expandido Nylon Aislante
- ② **Panel Cerramiento Horizontal**
 - Placa fenólica eucalipto.Esp:18mm
 - 20 capas de cartón corrugado. Esp:10cm
 - Placa fenólica eucalipto.Esp:18mm

obra mediante uniones en seco. Se trata de un sistema constructivo que busca aprovechar la disponibilidad del recurso cartón recuperado diariamente en la ciudad de Resistencia, haciendo uso de este tal como es obtenido, es decir, sin aplicarle transformaciones sobre su forma o materia. En este sentido, es necesario trabajar con los tamaños y espesores variables de sus planchas en la conformación de un "componente constructivo tipo" (en adelante CCT) que pueda utilizarse, indistintamente, en envolventes verticales (muros y tabiques divisorios) y horizontales (pisos y techos) de una vivienda de una sola planta. A partir de estas premisas, se diseñó un CCT que se encuentra conformado, en cada una de sus caras, por dos placas de contrachapado fenólico de 18 mm de espesor y un alma de 100 mm

constituido por sucesivas capas pegadas de cartón corrugado (figura 1). Con la intención de minimizar los desperdicios, el tamaño del panel queda definido por las dimensiones comerciales de los contrachapados fenólicos (1220 x 2440 mm).

Dicho panel, según su ubicación dentro del sistema constructivo (pared, piso, techo, etc.), deberá complementarse con otros materiales (revestimientos exteriores/interiores, pinturas, protecciones hidráulicas, etc.) capaces de protegerlo de las inclemencias climáticas, de posibles riesgos de incendio, del tránsito, o le brinde una terminación estética final (figura 2).

Como hipótesis de diseño, se espera que este CCT pueda acondicionar térmica y acústicamente el interior

de una vivienda, al mismo tiempo que actúe como elemento estructural capaz de admitir y canalizar las cargas verticales (gravitatorias y de succión) como de rigidizar al sistema constructivo ante cargas horizontales (vientos, por ejemplo). Su diseño se fundamenta en la idea de que el aumento de sucesivas capas de cartón corrugado incrementaría proporcionalmente las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de dicho panel, mientras pueda controlarse su porcentaje de humedad en el tiempo. Se exponen los resultados de los ensayos mecánicos, térmicos y acústicos realizados tendientes a corroborar/refutar preliminarmente esta hipótesis de diseño.

METODOLOGÍA

Para la evaluación experimental del CCT se idearon tres ensayos orientados a reconocer sus prestaciones mecánicas, térmicas y acústicas. Cabe aclarar que, en los tres casos, se trata de ensayos indicativos o exploratorios con baja precisión, puesto que el objetivo del trabajo busca reconocer el potencial que tiene la propuesta tecnológica y no la determinación rigurosa de sus diferentes propiedades. Por ello, en la descripción de cada ensayo, se mencionan posibles factores de error que pueden distorsionar la precisión de los resultados obtenidos.

ENSAYO MECÁNICO

Con el ensayo mecánico se pretende evaluar si sucesivas capas de cartón corrugado, como alma del CCT, pueden colaborar con la estabilidad estructural del sistema constructivo, que permita prescindir de un sistema estructural independiente que canalice las cargas verticales

del techo a los cimientos (columnas y vigas, o montantes y soleras). En este sentido, se decidió evaluar mecánicamente el CCT en su deformabilidad en el tiempo frente a una carga estática permanente que le genere un esfuerzo de flexión, como al que se encontraría sometido en una envolvente horizontal (piso o techo). Asimismo, estos resultados se consideraron adecuados para reconocer el grado de colaboración que tendría el alma de cartón en la deformabilidad del CCT ante un posible pandeo, producto de un esfuerzo de compresión sobre una envolvente vertical (pared).

Para el ensayo, se construyeron dos probetas del CCT en escala 1:6, de 400 x 200 mm:

- La "probeta 1" (probeta de referencia) representa al CCT sin alma de cartón, para el que se utilizaron dos placas de madera contrachapada de 3 mm de espesor.
- La "probeta 2" representa al CCT completo, para el que se utilizaron dos placas de madera contrachapada de 3 mm de espesor y 17 mm de sucesivas capas de cartón corrugado vinculadas con cola vinílica (figura 3).



Figura 3. Probeta 1 (izquierda) y Probeta 2 (derecha)
Fuente: elaboración propia

Se aplicó una carga estática de 8 kg sobre el centro de cada probeta durante 39 días. Las deformaciones se fueron midiendo y registrando, de manera manual, cada 24 horas con una precisión de fracción de milímetro mediante la ayuda de un calibre. Simultáneamente, con la intención de evaluar si la humedad ambiente tiene influencia en la resistencia mecánica del cartón corrugado, se registró diariamente la Humedad Relativa (HR) máxima tomada en el aeropuerto de Resistencia, publicada por el Servicio Meteorológico Nacional.

- Dentro de los factores de error que puedan distorsionar los datos registrados, se reconocen:
- La precisión de las mediciones que, al tratarse de algo manual, no se encuentra exento del error humano.
 - El armado de las probetas con

materiales de descarte (cartón corrugado y papeles), los que pueden presentar calidades diferentes.

ENSAYO TÉRMICO

Con este ensayo se determinó una aproximación al comportamiento térmico del alma del CCT (transmitancia, retardo y amortiguamiento térmico). Para ello, se construyó un recinto adiabático constituido por tabiques de 50 mm de espesor de Poliestireno Expandido de 10 kg/m³ de densidad, dividido en dos cámaras por un tabique del material a ensayar. Una de las cámaras contuvo una fuente de energía térmica (lámpara incandescente de 25 W) y la otra actuó como sumidero (figura 4).

Ambas cámaras contaron con sensores de temperatura del tipo Hobo

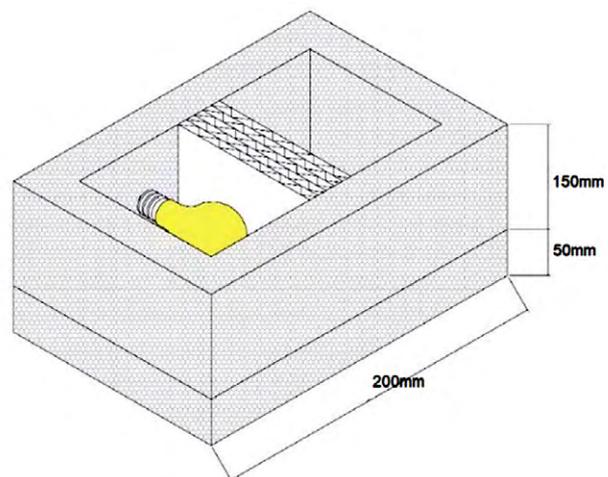
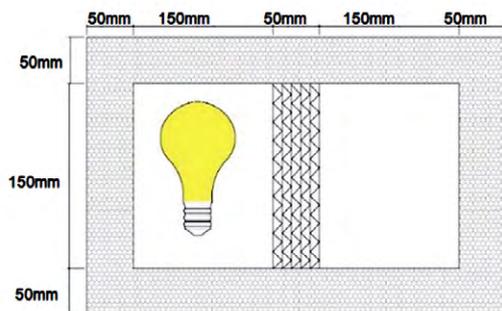


Figura 4. Esquema del recinto adiabático
Fuente: elaboración propia

Data Logger (U12003) programados para registrar los cambios térmicos de cada cámara cada 30 segundos. Finalmente, como probeta de ensayo se utilizó un tabique de 50 mm de multicapa de cartón corrugado, equivalente a la mitad del aislante del CCT (figura 5).

Dentro de los factores de error que pueden distorsionar los datos registrados se reconocen:

- El tiempo de aplicación de la fuente de calor, que se extendió por un período de una hora y quince minutos (1.15 hs.), interrumpiéndose de

manera arbitraria sin poder alcanzar el estado de régimen debido a la falta de un instrumento externo de observación. Situación que presenta como imprecisión a los valores de temperaturas máximas registradas en cada cámara (T_f y T_s), probablemente inferiores a las que se pudieron haber alcanzado en un estado de régimen.

- La determinación del Calor Transmitido (Q_t) a través del tabique. Para su estimación se tomaron ciertos supuestos teóricos (no verificables empíricamente) que consideran el rendimiento calorífico de la lámpara (η) y las pérdidas producidas por

las paredes del recinto (Q_1), al no tratarse de un recinto perfectamente adiabático.

- Las filtraciones por las juntas de la probeta. Al tratarse de una probeta de superficie pequeña la incidencia de las condiciones de borde sobre la superficie útil bajo ensayo tiene una relevancia significativa.

ENSAYO ACÚSTICO

Por último, con el ensayo acústico se buscó evaluar experimentalmente el poder aislante que le otorgaría el cartón corrugado al CCT, ensayándose



Figura 5. Imagen del recinto adiabático con los sensores de temperatura
Fuente: elaboración propia

únicamente el alma del panel en dos instancias diferentes. En la primera instancia se midió el nivel de ruido que transmite una fuente emisora en un espacio abierto (figura 6), mientras que, en una segunda instancia, se registró el nivel de ruido que transmite esta misma fuente emisora dentro de un cubo conformado por multicapas de cartón corrugado de 75 mm de espesor (figura 7). Como fuente emisora y receptora se utilizaron dos dispositivos de telefonía móvil distanciados a 35

cm. La fuente emisora, a volumen constante, emitió sonidos a diferentes frecuencias (500 hz, 963 hz, 2000 hz, 3000 hz y 4000 hz), mientras que la fuente receptora registraba los decibeles (dB) correspondientes a través de un **software** específico (Sonómetro) que funciona bajo el sistema operativo Android.

Como factores de error que pueden distorsionar los datos registrados, se reconocen:

- La conformación de la probeta o

cubo de cartón que pudo presentar resquicios que presentarían menores resistencias al paso del sonido.

- El sonido ambiente, que no se pudo anular, registrado en 45 dB.

- La sensibilidad de los micrófonos del dispositivo receptor, los que están alineados a la voz humana, en donde los valores máximos están limitados por el dispositivo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Comportamiento mecánico del CCT

Se presentan los resultados obtenidos del ensayo mecánico aplicado sobre el CCT. En el siguiente gráfico (figura 8) se sintetizan las deformaciones obtenidas en milímetros, en períodos de 24 hs., ante la solicitud de una carga estática permanente de 8 kg sobre el centro de cada una de las probetas, las que se encontraron sometidas a un esfuerzo de flexión por un período de 39 días. En línea



Figura 6. Ensayo acústico en un espacio abierto. Fuente: elaboración propia



Figura 7. Ensayo acústico con cubo de cartón mediante Fuente: elaboración propia

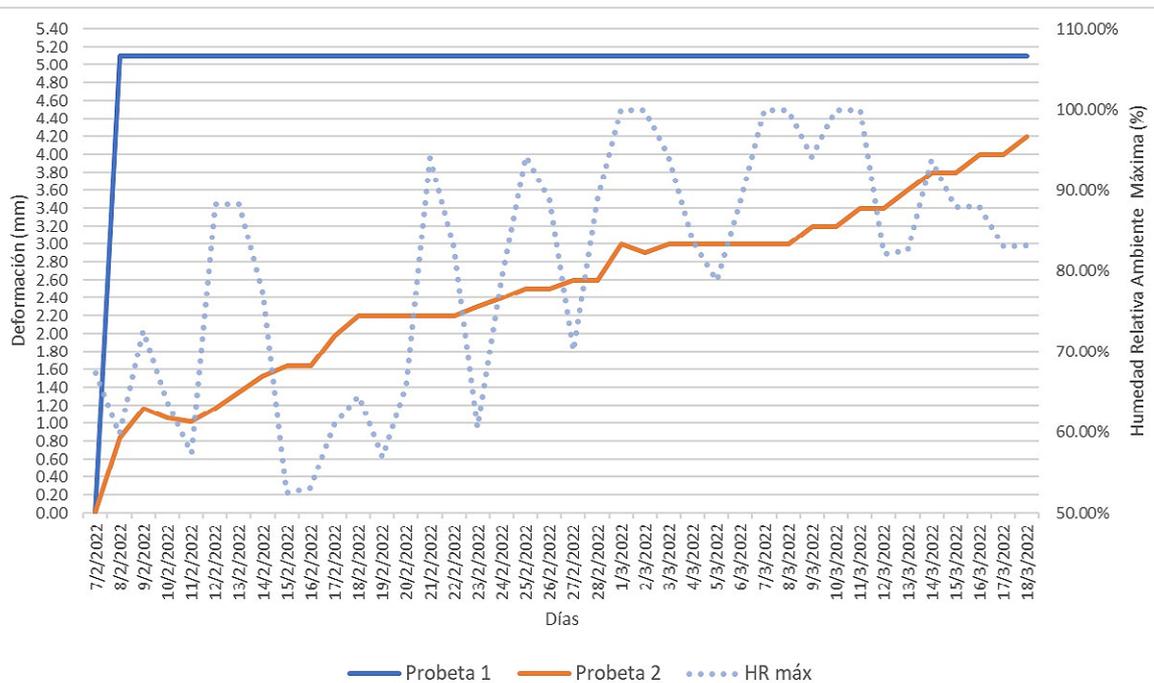


Figura 8. Gráfico temporal (días) de deformaciones (mm) de las probetas sometidas a flexión
Fuente: elaboración propia

de puntos, sobre el eje secundario de la ordenada aparecen los valores máximos de Humedad Relativa (HR) registrados en el aeropuerto de Resistencia. La línea llena azul se corresponde con la deformación de la "probeta 1" (sin alma de cartón), mientras que la naranja representa el comportamiento mecánico de la "probeta 2" (CCT completo).

Del gráfico se observa que la "probeta 1" (sin alma de cartón) ante la aplicación de la carga estática adopta una deformación instantánea de 5,1 mm, que se mantiene constante a lo largo de los 39 días de ensayo. La "probeta 2" (CCT completo), en cambio, ante la aplicación de la carga estática adopta una deformación inicial de 0,84 mm, significativamente menor a la "probeta 1", que es equivalente al 16,4 % de esta última.

Este resultado permitió suponer, de manera preliminar, que el alma de cartón corrugado podría colaborar estructuralmente con la resistencia del componente constructivo, otorgándole mayor altura al panel y, con ello, una mayor inercia al conjunto que conforma con las placas fenólicas.

La observación de su comportamiento en el tiempo evidencia, por otro lado, que la "probeta 2" se sigue deformando lentamente con el pasar de los días. Se identifican mesetas en donde la flecha parece estabilizarse, hasta que nuevamente retoma el proceso de deformación, situación que podría asociarse con un aumento en la humedad del cartón y su consecuente pérdida de resistencia mecánica. Si bien no se observa una estrecha correlación con la curva de humedad relativa, se advierten

coincidencias en algunos días en que se inicia un nuevo período de deformación con un aumento de la humedad relativa ambiente, como en los días 9/2, 12/2, 13/2, 14/2, 25/2, 1/3, 8/3, 10/3 y 14/3. Al día 18/3 (día 39 de ensayo) la "probeta 2" alcanzó una flecha de 4,2 mm, un 82 % respecto al 100 % de la deformación de la "probeta 1". La tendencia indica que la deformación de la "probeta 2" tiende a igualar o a acercarse a la flecha máxima de la "probeta 1".

Estos resultados permiten inferir, en consecuencia, que un alma compuesta por sucesivas capas de cartón corrugado no colaboraría estructuralmente con las dos placas conjuntas de contrachapado fenólico ante una carga estática aplicada de forma permanente, en componentes

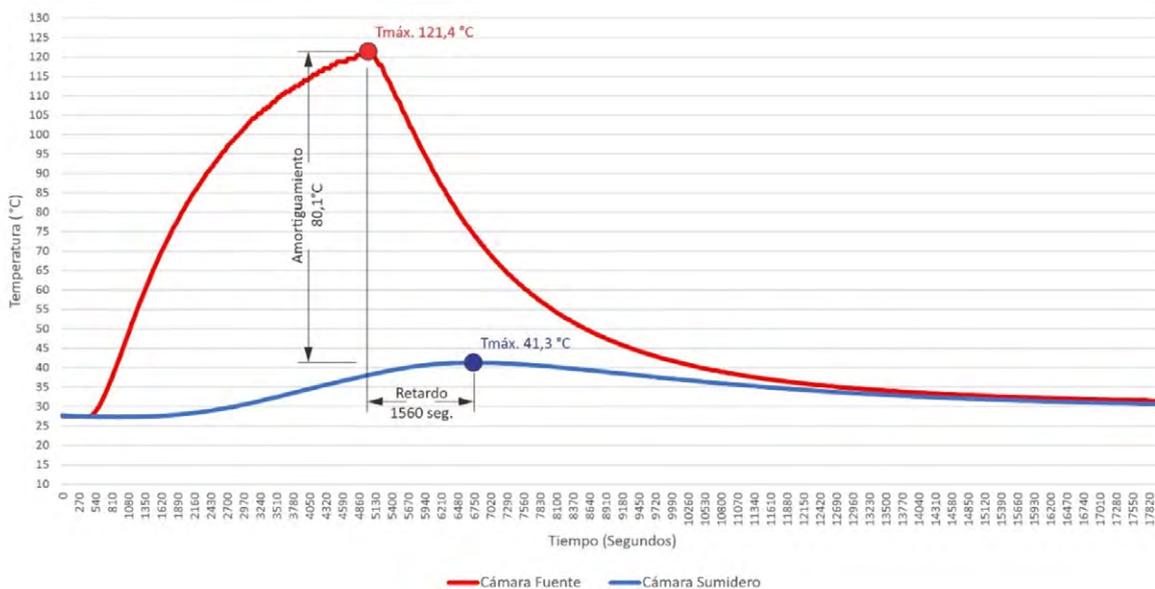


Figura 9. Evolución térmica de la "cámara fuente" y de la "cámara sumidero"
Fuente: elaboración propia

constructivos solicitados a la flexión. De esta manera, se refuta unos de los supuestos iniciales de diseño aplicados sobre el CCT, asociados con la posibilidad de prescindir de un sistema estructural independiente que canalice las cargas verticales del techo a los cimientos, como pueden ser el conjunto de columnas y vigas utilizados tradicionalmente en las construcciones de esta región, o de montantes y soleras propios de

2. El "Wood Framing" se basa en el empleo de montantes de madera a distancias reducidas y rematados en sus extremos por sendas soleras también de madera. Asimismo, los entrepisos son formados por viguetas de madera y los muros y entrepisos recubiertos con revestimientos de diferentes tipos (Dannemann, s/f).

3. El "Steel Framing" es un sistema heredero del "Wood Framing", adaptado a construcciones de acero a partir de perfiles galvanizados livianos. Al igual que el "Wood Framing", en este sistema se emplean con poca frecuencia pórticos, vigas y columnas aisladas, siendo las cargas gravitacionales distribuidas en forma uniforme por un sistema de entramados (montantes y soleras) distribuidos de manera modular (Dannemann, s/f).

los sistemas constructivos en seco, como el *Wood Framing*² o el *Steel Framing*³.

Comportamiento térmico del CCT

En cuanto al comportamiento térmico, en el siguiente gráfico (figura 9) se expresa la evolución térmica en el interior de cada una de las cámaras del recinto adiabático ("cámara fuente" –curva roja– y "cámara sumidero" –curva azul–), registradas cada 30 segundos, las que se encuentran separadas por la probeta de ensayo: un tabique de 50 mm de multicapa de cartón corrugado, equivalente a la mitad del alma del CCT.

Del gráfico se puede observar que al inicio del ensayo ambas cámaras se encontraban a una temperatura de 27,5°C. Aplicada la fuente de calor, a los 480 segundos, la "cámara fuente" de manera instantánea inicia un aumento acelerado de su temperatura, que alcanza los 121,4°C a los 4980 segundos de iniciado el ensayo, momento en el que se interrumpe la fuente de calor. A partir de entonces, la "cámara fuente" inicia un descenso de su temperatura a una velocidad

casi constante, perdiendo energía por los distintos tabiques que envuelven a esta cámara (figura 10), registradas con una cámara termográfica FLIR MSX. La amplitud térmica registrada en la "cámara fuente" fue de 93,9°C.

La "cámara sumidero", en cambio, empezó a registrar una variabilidad térmica a los 1530 segundos de iniciado el ensayo, 1050 segundos posteriores al inicio de la fuente de calor. A diferencia de la "cámara fuente", la "cámara sumidero" presentó un aumento más moderado de su temperatura registrando un pico máximo de 41,3°C a los 6540 segundos, con una amplitud térmica que alcanza los 13,8°C. De esta manera, el amortiguamiento térmico provocado por el tabique divisor multicapa de cartón corrugado entre la máxima temperatura de la "cámara fuente" y la "cámara sumidero" fue de 80,1°C; mientras que el retardo térmico fue de 1560 segundos. Estos resultados preliminares permiten inferir, en consecuencia, que el tabique multicapa de cartón corrugado presentaría propiedades térmicas adecuadas, como material aislante alternativo, para resistir al paso del calor; puesto que logra amortiguar



Figura 10. Pérdidas de calor registradas en la "cámara fuente"
Fuente: elaboración propia

en tres veces el pico térmico de la "cámara fuente". Ambas cámaras se equilibraron térmicamente a los 13500 segundos de iniciado el ensayo.

Con la intención de determinar la capacidad aislante del tabique multicapa de cartón corrugado de 50 mm de espesor y compararlo con otros materiales de la construcción, se realizó una aproximación teórica a su Coeficiente de Transmitancia ("K") y Conductividad Térmica ("λ"). Se obtuvieron como resultados los valores de 4,32 W/m²°C" y de 0,22 W/m°C, respectivamente (Burgos, 2022). Cabe aclarar que el valor de conductividad térmica obtenida de manera teórica, a partir de los resultados del ensayo, dista en 3,4 veces respecto del valor de 0,065

W/m°C calculado en Gutiérrez y González (2012). Esta discrepancia puede deberse a los factores de error señalados en el apartado "Metodología" que pudieron haber distorsionado los datos registrados y utilizados para el cálculo. Por otro lado, el cartón corrugado utilizado en Gutiérrez y González (2012) para la determinación del coeficiente de conductividad térmica, según señalan estos autores, es un cartón corrugado nuevo del tipo comercializado en pinturerías, que probablemente difiera en su contenido de humedad, grado de aplastamiento, o nivel de deterioro respecto del cartón corrugado recuperado de los RSU.

Aun así, a pesar de las fuentes de incertidumbre señaladas, el ensayo

exploratorio realizado revela un comportamiento térmico superior del cartón corrugado respecto de otros materiales habituales de la construcción en cuestiones de aislación: 7,4 veces respecto del hormigón (1,63 W/m°C); 3,7 veces, del ladrillo común (0,81 W/m°C) y una conductividad térmica similar a las maderas naturales macizas (tabla 1). Este resultado permite dar cuenta, entonces, del potencial que tiene este material de desecho como aislante térmico en la edificación, el cual cuenta con la ventaja de poder ser reutilizado de modo directo en la conformación de un componente constructivo tipo, sin la necesidad de aplicarle transformaciones sobre su forma o materia.

TABLA 1

Comparación de densidades y conductividad térmica de materiales de la construcción

DEPARTAMENTO	DENSIDAD (KG/M3)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M°K)	FUENTE
Hormigón normal con agregados pétreos	2400	1,63	Norma IRAM 11601/02
Ladrillo cerámico macizo	1600	0,81	Norma IRAM 11601/02
Madera de pino spruce (perpendicular a las fibras)	400 - 600	0,13 - 0,19	Norma IRAM 11601/02
Cartón corrugado de RSU	variable	0,22	Elaboración propia
Cartón corrugado nuevo	47	0,065	Gutiérrez y González (2012)
Lana de vidrio en fieltro	11-14	0,043	Norma IRAM 11601/02
Poliestireno Expandido en plancha	15	0,037	Norma IRAM 11601/02

Fuente: elaboración propia

Comportamiento acústico

Finalmente, respecto del comportamiento acústico del CCT, en la siguiente tabla (tabla 2) se detallan en la primera columna las distintas frecuencias sonoras de la fuente emisora a las cuales fue realizado el ensayo acústico, a un nivel constante de volumen. En la segunda columna se observa el nivel de ruido que transmite dicha fuente emisora en un espacio abierto. En la tercera columna se sintetiza el nivel de ruido medido desde esta misma fuente emisora dentro de un cubo conformado por multicapas de cartón corrugado de 75 mm de espesor, equivalente a 3/4 del alma del CCT. Las diferencias entre ambas mediciones con el porcentaje de reducción se resumen en la cuarta y quinta columna, respectivamente.

Las diferencias percibidas en el nivel de ruido de la fuente emisora, entre el espacio abierto y mediada por la probeta de cartón corrugado de 75 mm de espesor, rondan entre los 14 y 16 dB, equivalentes a un porcentaje de reducción que se encuentra entre 17,72 % y 27,91 %, según la frecuencia evaluada. En cualquiera de los casos, estos resultados dan

cuenta del potencial que tiene este material de desecho como aislante acústico en la edificación; sobre todo considerando su bajo costo y los impactos ambientales favorables de su recuperación respecto de los que presentan los materiales aislantes disponibles en el mercado.

En una analogía sencilla, este nivel de aislamiento podría permitir pasar de un ambiente ruidoso, en torno a los 70 dB, equivalente a una conversación en voz alta, a una oficina con gente, o a un tráfico urbano moderado, hacia un ambiente tranquilo de 55 dB, equivalente al límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (2018) para un sonido saludable. Aislación que se vería incrementada considerablemente si se tomara al componente constructivo completo, es decir, con ambas placas de contrachapado fenólico de 18 mm y el alma de multicapa de cartón corrugado de 100 mm de espesor.

CONCLUSIONES

En el marco de una problemática ambiental preocupante respecto del volumen de residuos sólidos urbanos que genera diariamente el Área Metropolitana del Gran Resis-

tencia, en donde se reconocen los esfuerzos —aún insuficientes— por intentar recuperar aquellos desechos que presentan posibilidades para un nuevo uso por medio del reciclaje, el trabajo se centró específicamente en las potencialidades que presenta la recuperación del cartón corrugado para el ámbito de la construcción. El desafío de este trabajo centrado en analizar formas de reuso del cartón corrugado recuperado de los RSU, sin reciclaje o sin aplicarle transformaciones sobre su forma o materia, llevó a reconocerlo desde sus distintas propiedades mecánicas, térmicas y acústicas, en la conformación de un componente constructivo tipo para viviendas de una sola planta. La hipótesis de diseño, que se puso a prueba con los distintos ensayos exploratorios, tenía por intención reconocer si este material de descarte podría colaborar estructural, térmica y acústicamente en un sistema constructivo liviano y/o complementar los sistemas tecnológicos convencionales de la edificación.

Estos ensayos permitieron dar cuenta de que, en elementos sometidos a un esfuerzo de flexión, un panel conformado por sucesivas capas

FRECUENCIA SONORA	NIVEL DE RUIDO EN ESPACIO ABIERTO	NIVEL DE RUIDO DENTRO DE LA PROBETA	DIFERENCIAS DE DB DENTRO/FUERA DE LA PROBETA	PORCENTAJES DE REDUCCIÓN
500 hz	79 dB	65 dB	14 dB	17,72%
963 hz	76 dB	60 dB	16 dB	21,05%
2000 hz	73 dB	57 dB	16 dB	27,91%
3000 hz	78 dB	64 dB	14 dB	17,95%
4000 hz	66 dB	50 dB	16 dB	24,24%

Fuente: elaboración propia

de cartón corrugado no colaboraría estructuralmente con las dos placas conjuntas de contrachapado fenólico ante una carga estática aplicada de forma permanente. De esta manera, su uso como complemento estructural no permitiría prescindir de un sistema estructural independiente que canalice las cargas verticales del techo a los cimientos. Contrariamente, en los ensayos térmicos y acústicos, aun teniendo presentes distintos factores de error que distorsionaron las mediciones, se reconoció un enorme potencial de aislamiento en estas dos variables, comparables a las prestaciones que presentan los materiales convencionales utilizados para tales fines en la construcción, como el poliestireno expandido, la lana de vidrio, el poliuretano proyectado, entre otros.

Los resultados obtenidos de los ensayos permiten imaginar un abanico de posibilidades para este material de descarte que le otorgan un valor constructivo significativo como posible sustituto de otros productos de mayor costo o con mayor impacto ambiental, como los derivados del petróleo, de los grandes procesos industriales o que deben recorrer largas distancias para aplicarse en el sitio. Además, la diversificación de la reutilización del cartón recuperado, como alternativa al reciclaje, podría traer aparejado un impacto positivo a nivel social, ya que colaboraría con la reivindicación del oficio de los recuperadores urbanos de la ciudad de Resistencia, comúnmente conocidos como cartoneros.

A pesar de todas las bondades encontradas, el estudio efectuado se considera aún incipiente para concluir o demostrar fehacientemente las inferencias realizadas

sobre este material de descarte. No obstante, deja abierta una línea de investigación en la cual se seguirá profundizando en futuras investigaciones, con ensayos más precisos y estudios que abarquen las posibles amenazas a las que puede someterse este material en la edificación, como los riesgos de incendios, los ataques biológicos o los efectos de la humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burgos, S. (2022). *Diseño de sistemas constructivos flexibles a base de cartón para el hábitat, en el marco de la Economía Circular*. Informe Final del trabajo de investigación (inédito), Beca de Pregrado de la Secretaría General de Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Nordeste.

Dannemann R. (s/f). *Manual de ingeniería de Steel Framing. Construcciones entramadas en acero*. Libro digital, 2da. Ed. Asociación Latinoamericana del Acero.

Ellen MacArthur Foundation (2013). *Towards the Circular Economy Vol. 1 – An Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Ellen MacArthur Foundation.

Gobierno del Chaco (2021). *El gobierno presentó el programa Recitados que promueve el reciclado de plástico, vidrio y cartones en Resistencia*. Recuperado el 9/11/2021 de <https://chaco.gov.ar/noticia/66571/el-gobierno-presento-el-programa-recitados-que-promueve-el-reciclado-de-plasticovidrio-y-cartones-en-resistencia>

Gutiérrez, J. & González, A. (2012). Determinación experimental de conductividad térmica de materiales aislantes naturales y de reciclado.

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 16, 41-48.

Informe Provincia del Chaco (2010). *Anexo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*, Chaco.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS) (2016). *Informe del Estado del Ambiente 2016*.

Norma IRAM 11601/2002. *Acondicionamiento Térmico de Edificios. Método de Cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*.

Organización Mundial de la Salud (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. Recuperado el 7/10/2021 de https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf

Sauvé, S.; Bernard, S. & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development* (17), 48–56. doi: 10.1016/j.envdev.2015.09.002