

Comunicaciones Científicas y Tecnológicas Anuales 2021

Docencia
Investigación
Extensión
Gestión



DOCENCIA
INVESTIGACIÓN
EXTENSIÓN
GESTIÓN



Dirección General

Decano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNNE
Dr. Arq. Miguel A. Barreto

Dirección Editorial Fau UNNE

Secretaría de Investigación,
Dra. Arq. Venettia Romagnoli

Comité Organizador

Dra. Arq. Herminia Alías
Arq. María Victoria Cazorla
Esp. Prof. Cecilia De Lucchi
Mg. Arq. Anna Lancelle
Mg. Arq. Patricia Mariño
Mg. Arq. María Laura Putel
Lic. Lucrecia Seluy

Asistentes - Colaboradores

DG Carlos Ariel Ayala Chabán
DG César augusto
MMO María Micaela Ferrigno

Revisión Editorial

Cecilia Valenzuela

Coordinación editorial y compilación

Dra. Arq. Venettia ROMAGNOLI

Diseño y Diagramación

Marcelo Benítez

Corrección de texto

Cecilia Valenzuela

Edición

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional del Nordeste
(H3500COI) Av. Las Heras 727 •
Resistencia • Chaco • Argentina
Web site: <http://arq.unne.edu.ar>

ISSN 1666-4035

Reservados todos
los derechos.

La información contenida en este volumen es
absoluta responsabilidad de cada uno de los autores.
Quedan autorizadas las citas y la reproducción de la
información contenida en el presente volumen con
el expreso requerimiento de la mención de la fuente.

DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS FLEXIBLES A BASE DE CARTÓN PARA EL HÁBITAT, EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

Resumen

Se exponen los primeros resultados del trabajo de investigación "Diseño de Sistemas Constructivos Flexibles a Base de Cartón para el Hábitat, en el Marco de la Economía Circular", enmarcado en una Beca de Pregrado de la SGCyT-UNNE 2021. En primer lugar, se presenta la problemática socioambiental a la cual se busca dar respuesta junto a los objetivos específicos del trabajo, vinculados con el reconocimiento y aprovechamiento del residuo cartón como materia prima para el desarrollo de un sistema constructivo para el hábitat. Posteriormente, se detallan los resultados parciales obtenidos, junto con la metodología y técnicas utilizadas. Finalmente, se reflexiona sobre las dificultades y logros encontrados a lo largo de este proceso investigativo, y se presentan las futuras actividades que se van a desarrollar.

PALABRAS CLAVE

Reutilización; sistema constructivo; enfoque circular.

INTRODUCCIÓN

El desafío de diseñar sistemas constructivos que utilicen como recurso principal el cartón recuperado de los residuos sólidos urbanos (RSU) de ciudades como Resistencia surge motivado a partir del reconocimiento de dos factores que, en conjunto, generan uno de los mayores problemas que la sociedad enfrenta en la actualidad: la progresiva destrucción del medio ambiente. El primero de ellos se vincula con las enormes presiones ambien-

tales que ejerce el sector edilicio a lo largo de su ciclo de vida. Solo en la última década, la construcción, funcionamiento y mantenimiento de los edificios representó cerca del 50 % de los materiales extraídos y la energía utilizada, el 25 % del agua consumida y el 25 % de los residuos generados (Fundación Conama, 2018). El segundo factor se relaciona con la escasez de políticas locales orientadas al tratamiento final de los RSU. Anualmente en la Argentina se generan cerca de 16.3 millones de toneladas; 702.625

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

Becaria de Pregrado de Investigación (2021-2022); Secretaría General de Ciencia y Técnica de la UNNE. Cátedra Estructuras II, FAU-UNNE.



En este marco, la hipótesis del trabajo de investigación se sustenta en la idea de que estos dos factores podrían atacarse sinérgicamente mediante el diseño de un sistema constructivo alternativo para el hábitat, que (re)utilice como material primario el cartón de desecho. De esta manera, como objetivo general el trabajo propone diseñar un sistema constructivo ambientalmente sostenible y termo-energéticamente eficiente a partir del reuso del cartón, capaz de complementar los sistemas tecnológicos convencionales de las edificaciones del NEA. 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 cílico (Sauvé *et al.*, 2016). Así, al tiempo que se busca alargar la vida útil del cartón, desde una concepción ambiental circular, se pretende diseñar una alternativa constructiva viable desde lo tecnológico, energéticamente eficiente y económicamente accesible.

El trabajo se estructura en dos grandes etapas: una cognoscitiva y otra propositiva. En esta comunicación se exponen los resultados parciales de la primera etapa. Se presentan, a continuación, los primeros tres objetivos específicos del trabajo junto a las metodologías y técnicas utilizadas.

RESULTADOS ALCANZADOS EN LOS PRIMEROS CINCO MESES DE BECA

La pandemia de **COVID-19** provocó el cierre de varias actividades y de las reuniones sociales, lo que dificultó el acceso a información primaria (relevamientos, ensayos y entrevistas). Para la realización de los primeros tres objetivos específicos, a lo largo de estos primeros cinco meses de beca, se recurrió mayormente a metodologías y técnicas de recolección y análisis basadas en información secundaria (textos académicos), como a cálculos teóricos de estimación de ahorros de consumo de agua o de energía en el Objetivo Específico 2 (OE2), al momento de evaluar el impacto de reciclar cartón; y de transmisiones térmicas en el Objetivo Específico 3 (OE3), según el método de cálculo de la Norma IRAM 11601/02. Aun así, luego de varias gestiones, se pudieron realizar entrevistas tanto a recuperadores urbanos como a cooperativas, que fueron de vital importancia en el reconocimiento de la disponibilidad, y del proceso de recuperación del cartón en la ciudad de Resistencia en el Objetivo Específico 1 (OE1).

OE1: Relevar y clasificar la disponibilidad del recurso cartón en el NEA, teniendo en cuenta la dinámica social que genera su recuperación, separación y reciclaje

El cartón es un material que se desecha en abundancia, debido a que se utiliza, mayormente, como

embalaje de mercaderías. El auge del **e-commerce** generó un fuerte incremento de su volumen, puesto que las ventas **online** lo utilizan para transportar sus productos. Actualmente, se desechan cerca de 23.000 toneladas anuales de papel y cartón en la provincia del Chaco, donde solo entre el 4 y el 7 % son recuperados y separados para su posterior reciclaje (Informe Provincia del Chaco, s. f.).

El Municipio de Resistencia cuenta con puntos verdes de recolección distribuidos por toda la ciudad y con un centro de clasificación de RSU, cuya función principal es la de separar y almacenar residuos que puedan ser reciclados (cartón, papel y plástico) en las plantas de reciclaje de otras provincias del país. Asimismo, han surgido en la ciudad cooperativas, centros de clasificación privados y recuperadores urbanos que, de manera coordinada, complementan a estos equipamientos públicos, encontrando en ello una posible salida laboral. A la fecha, se reconocen cerca de ocho centros de clasificación privados en la ciudad. Algunos de ellos son pequeños, juntan gran cantidad de residuos, pero, al no poseer la infraestructura necesaria para continuar con el proceso de reciclaje, terminan vendiendo el recurso a las cooperativas más grandes de la ciudad.

El volumen de cartón recuperado en Resistencia es significativamente importante. Según las estadísticas brindadas por la Cooperativa Quebrachales, SRL (J. Usotorres, comu-

nicación personal, 7 de abril de 2021), solo en este centro de recolección, se recaudan entre 600 y 800 toneladas de cartón por mes. Este volumen es compactado y enviado a diferentes papeleras o plantas de reciclaje de ciudades como Rosario y Córdoba.

De esta manera, es posible reconocer que el recurso cartón es abundante en la ciudad, y que su logística de recuperación y separación se encuentra moderadamente organizada, siendo su único destino el reciclaje en otros centros del país. La indagación en posibles formas de reuso, como alternativa al reciclaje, que puedan agregarle valor a este recurso y distribuir renta de manera local forma parte de los objetivos que persigue la investigación. Se prevé seguir ahondando en la disponibilidad de este recurso en la ciudad de Resistencia, con la intención de poder alcanzar una clasificación aproximada de los tipos de cartón que se logran recuperar y separar.

OE2: Indagar en el ciclo de vida del material, como en sus distintas alternativas de disposición final

Tanto el cartón como el papel son materiales que presentan baja dificultad a la hora de reciclar. Un esquema del proceso desde que se convierte en desecho hasta que se reintegra al mercado como un nuevo producto puede sintetizarse de la siguiente manera:

- **Recogida selectiva:** donde participan los recuperadores urbanos (RU),

los puntos verdes y la comunidad en la separación de los residuos domiciliarios. Actualmente, los RU obtienen \$13 por kg de cartón recogido en la ciudad de Resistencia (J. Usotorres, comunicación personal, 7 de abril de 2021).

- **Centro de acopio o centros de clasificación:** una vez recogido el cartón, se lleva a los centros de clasificación, donde se compacta sin hacer distinciones sobre el tipo de cartón, para su posterior transporte a las plantas de reciclaje o a las papeleras.

- **Papeleras:** una de las más reconocidas resulta ser "CARTUCOR" del grupo Arcor. Cuando llegan estos residuos a las papeleras son transformados en pulpa. El cartón es uno de los materiales que se recicla en un 100 % y puede pasar por este proceso infinitas veces.

- **Rollos:** utilizados para la fabricación de nuevos envases, son la principal fuente de reingreso del residuo al mercado. A partir de los rollos se fabrican las cajas de cartón, que ocupan cerca del 70 % del volumen reciclado. Otros usos son los cuadernos de apuntes, o como aislación acústica y térmica en obras civiles.

Con ello, se puede reconocer que el cartón, a diferencia de otros materiales, admite múltiples usos a lo largo de todo su ciclo de vida a partir del reciclaje. Por cada tonelada de papel y cartón se ahorran 17 árboles adultos, 2,5 m³ de desperdicios, 27.000 litros de agua y 4100 kWh (Wikipedia, 2020). Si se llegara a reciclar el 100 % del papel y cartón desechado anual-

mente en el Chaco (23.000 tn/año), se podrían ahorrar la tala de 391.000 árboles; 57.500 m³ de desperdicios; 621.000 litros de agua, equivalentes a 249 piletas olímpicas; y 94.3 millones de kWh, cifra similar al consumo energético anual de 314.000 viviendas. Este ahorro energético y de agua puede ser mayor aún si, en vez de reciclar, se diseñan estrategias tendientes a recuperar y a reutilizar el cartón desechado, sin que se produzcan transformaciones en su materia. Esta idea da fundamento al último objetivo específico de la investigación, orientado a la indagación de alternativas de reuso del cartón en la conformación de un sistema constructivo para edificaciones de mediana escala, siendo necesario, previamente, reconocer las propiedades mecánicas e hidrotérmicas de este recurso, contenido en el OE3.

OE3: Estudiar las propiedades mecánicas e hidro-térmicas del material cartón

A. Análisis de las propiedades mecánicas del cartón

El cartón corrugado está constituido por una o más hojas de papel estriadas adheridas en una o más hojas de papel plano. Las caras tienen una función protectora sobre las estrías, y realizan una aportación importante a la resistencia del embalaje (rigidez a la flexión, estallido, desgarro, resistencia al apilado), de cara a posibles agresiones mecánicas, climáticas u otras. El papel estriado tiene como función aumentar la rigidez a la flexión (perpendicular a los canales), como la



resistencia a la compresión sobre el canto (paralela a los canales), además de proporcionarle la propiedad "amortiguadora" al cartón (Enbatec, s. f). Estas nervaduras son las que le otorgan el espesor a la plancha. Cada espesor de onda tiene una letra asignada. Así, A=5.5mm, C=4mm, B=3mm, E=1.7mm y F=1.1mm (Carton-lab, 2021). El foco de este trabajo se centra sobre el cartón corrugado de doble cara y del tipo "C", el de mayor disponibilidad en la región, usado en supermercados para el embalaje de mercaderías.

Según ensayos realizados en la Universidad de Santa María, Perú, sobre la resistencia a compresión del cartón corrugado de doble cara, se advirtió que a mayor gramaje, mayor es la resistencia de aplastamiento de borde (paralela a los canales), y que a menor espesor del cartón corrugado se obtiene una mayor resistencia al aplastamiento plano o compresión horizontal perpendicular a los canales (Kengdall Folmer & Rodríguez

Payalich, 2017). Sin embargo, estos resultados se ven afectados por la humedad que pueda llegar a absorber el cartón. Así, con el incremento de un 9 % de su humedad, se reduce en un 46,4 % su capacidad de carga vertical, lo que hace a este material poco resistente en ambientes con humedad relativa alta (Rodríguez Tarango, 2018). El estudio de alternativas de reuso del cartón, en un sistema constructivo, deberá contemplar el aprovechamiento de la capacidad portante de las estrías (en sus dos sentidos), como, también, estrategias que permitan minimizar el aporte de humedad al material, en orden de no afectar esta capacidad portante.

B. Análisis de las propiedades térmicas del cartón (conductividad térmica)

En cuanto a las propiedades térmicas del cartón, se puede observar que tiene una baja conductividad térmica en relación con otros materiales aislantes convencionales (tabla II),

producto de su baja densidad y del aire contenido entre sus estrías. Esto permite inferir que su uso en la construcción podría resultar en una alternativa ecológica y económica viable para aislar térmicamente edificaciones, frente a materiales derivados del petróleo como el poliestireno expandido y el poliuretano proyectado.

Por otro lado, comparando su poder aislante con otros materiales usados en las envolventes de las edificaciones, se advierte que para conseguir una resistencia térmica de 0.55 m²K/W, se necesitarían 90 cm de espesor de hormigón, 45 cm de mampostería de ladrillo común o 15 cm de madera de pino para igualar la resistencia térmica de 4 cm de cartón corrugado. Esta resistencia térmica es la necesaria para cumplir con el Nivel C (mínimo) de transmitancia térmica requerida en verano para muros en la zona bioambiental Ib (muy cálido húmedo), donde se encuentra la ciudad de Resistencia, de acuerdo con la Norma IRAM 11605/96.

TABLA II DENSIDAD Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE MATERIALES AISLANTES.

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m ² K)	Fuente
Lana de vidrio en fieltro	11-14	0,043	Norma IRAM 11601/02
Poliestireno expandido en plancha	15	0,037	Norma IRAM 11601/02
Poliuretano proyectado in situ	30 – 60	0,022	Norma IRAM 11601/02
Cartón corrugado	47	0,065	Gutiérrez y González (2012)
Cilindro de cartón vacío (cámara de aire)	-	0,19	Gutiérrez y González (2012)

Fuente: Gutiérrez y González (2012) y Norma IRAM 11601/02

CONCLUSIONES

Se presentó, sintéticamente, el nivel de avance del trabajo "Diseño de Sistemas Constructivos Flexibles a base de cartón para el hábitat, en el marco de la Economía Circular". A la fecha, el trabajo se encuentra próximo a concluir con el OE3 y, con ello, la etapa cognoscitiva, lo que representa un 50 % de las actividades programadas en el plan de trabajo. Es importante mencionar que se produjo un atraso en el desarrollo de las actividades pactadas debido a las dificultades encontradas en el momento de recolectar información. Esta situación se debió, principalmente, al contexto actual de pandemia de COVID-19, circunstancia que, además, requirió un ajuste en la escala de la investigación, que debió pasar de un estudio regional en el NEA a la situación particular en la ciudad de Resistencia (Chaco).

Por otro lado, el acceso a información secundaria del recurso cartón en revistas y artículos científicos también presentó sus complicaciones, puesto que los datos encontrados, en algunos casos, reflejaban realidades diferentes de otros contextos geográficos y sociales. Aun así, es menester reconocer como un logro del trabajo la creación de información a partir de datos locales, principalmente de entrevistas, que pueden servir de antecedente a otros interesados en la temática.

Se prevé, en los próximos meses, continuar profundizando en las propiedades mecánicas e higrotérmicas del cartón, analizando espesores adecuados para soportar cargas y aislar térmicamente a un edificio, como su posible combinación con otros materiales disponibles en la región. Esta evaluación se considera necesaria para dar inicio la etapa propositiva de la investigación, en la cual se propone indagar en alternativas de reúso del cartón corrugado en la conformación de un sistema constructivo que contemple las exigencias de habitabilidad requeridas para el NEA. Aun así, a partir de lo analizado, se presume que el aumento de sucesivas capas de cartón/aire en la conformación de un componente que actúe a modo de envolvente incrementará proporcionalmente las propiedades mecánicas y térmicas de dicho panel, mientras pueda controlarse su porcentaje de humedad en el tiempo. Reconocer las posibles formas de vinculación entre las sucesivas capas de cartón corrugado, el espesor adecuado de la placa, la disposición y sentido de las estrías de cada capa, entre otras variables, forma parte de las actividades previstas en el siguiente y último objetivo del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cartonlab (2021). *Tipos de cartón y cómo diseñar con ellos*. <https://cartonlab.com/blog/tipos-de-carton-aplicaciones/>

De Luca, M. & Giorgi, N. (2015). *Estudio de Estrategia y Factibilidad de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) para la República Argentina*. Cámara Argentina de la Construcción.

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

Enbatec (s/f). *Proceso de producción del cartón corrugado*. <https://enbatec.es/proceso-de-fabricacion-del-carton-corrugado>

Fundación Conama (2018). *Economía Circular en el sector de la construcción*. Conama.

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.

Kengdall Folmer, V. & Rodríguez Palylich, O. (2017). *Implementación de ensayos mecánicos de cartón corrugado de doble cara en el laboratorio de materiales de la Universidad Católica de Santa María*. [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico]. Universidad Católica de Santa María.

Norma IRAM 11601 (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Método de Cálculo. Propiedades térmicas*



de los componentes y elementos en régimen estacionario.

Norma IRAM 11605 (1996). *Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.*

Rodríguez Tarango, J. (2018). ¿Cuál es el efecto de la humedad en la resistencia ect y bct de las cajas de cartón corrugado? *Revista Digital El Empaque+Conversión*. <https://www.elempaque.com/temas/Cuales-es-el-efecto-de-la-humedad-en-la-resistencia-ECT-y-BCT-de-las-cajas-de-carton-corrugado+127093>

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.

Wikipedia (24 de mayo de 2020). *Reciclaje de Papel*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje_de_papel

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