

EXPERIENCIA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE PLACAS DE CIELORRASO A PARTIR DE CARTÓN RECICLADO

Fecha de Recepción: 30 de junio de 2020 • Fecha de Aceptación: 30 de septiembre de 2020

Marcipar Schenquer, Alfredo*; **Cerutti, Exequiel;** **De Mattia, Ana;** **Invinkelried, Paula**

Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.
Lavaisse 610, CP: 3000, Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*
Correo Electrónico: amarcipa@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

A nivel mundial, la tendencia a reciclar materiales provenientes de los desechos es cada vez mayor. En este sentido, el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN-FRSF) lleva adelante una línea de investigación para el desarrollo de elementos constructivos en base a aglomerados de cartón con cemento.

En el marco de dicha investigación se propone la reutilización de cartones de descarte, buscando otorgarles valor agregado, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental.

El presente artículo relata la experiencia de producción de placas cuadradas para confor-

mar un cielorraso de 20m² dispuesto sobre una estructura metálica convencional.

Del universo de los cartones de descarte, se ha seleccionado el tipo lámina que cuenta con una de sus caras entintadas y/o barnizadas, lo que lo convierte en un desecho poco atractivo para el circuito tradicional de reciclaje.

Con el nivel actual de avance en la investigación y en base a experiencias de aplicación a escala real, es posible concluir que se puede adaptar el aglomerado de cartón-cemento para su utilización en el ámbito de la construcción de forma sencilla, rápida y accesible.

Palabras Claves: Cartón; Cemento; Reciclado; Aglomerados; Prefabricados

ABSTRACT

The trend to recycle materials from waste is increasing in the worldwide. In this sense, the “Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda” (CECOVI) of the Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe carries out a line of research for the development of construction elements based on cardboard agglomerates with cement.

Within the framework of this research, the reuse of waste cartons is proposed, seeking to provide them added value, helping to reduce the environmental impact.

This article relates the experience of producing square plates to form a 20m² ceiling mounted

on a conventional metal structure.

From the universe of discard cardboards, the sheet type that has one of its inks and/or varnished faces has been selected, which makes it an unattractive waste for the traditional recycling circuit.

With the current level of research progress and based on real-scale application experiences, it is possible to conclude that the cardboard-cement chipboard can be adapted for use in the construction field in a simple, fast and accessible way.

Key-words: Cardboard; Cement; Recycled; Agglomerate; Precast

INTRODUCCIÓN

Las experiencias en el Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) en la aglomeración de materiales de diferente índole en matrices cementíceas y más específicamente de origen natural (ligno-celulósicos), tienden a validar la idea de adherencia entre la celulosa y el cemento. Los antecedentes más relevantes a destacar son los trabajos realizados en aglomeración de pasta cementícea con cascarilla de algodón (Carrasco et al., 2013) y con lana de madera (Citroni et al., 2013). En este sentido, se propuso la sustitución de estos materiales por cartón de descarte, lo que supone una disminución en el costo de la materia prima, dando asimismo valor agregado a un material de desecho y contribuyendo a reducir el impacto ambiental.

A partir del proyecto PID UTN 4804 (2017), se logró evaluar el comportamiento del material compuesto cartón-cemento observándose deficiencias en la adherencia de los materiales utilizados. En función de esto es que surge la necesidad de incorporar aditivos químicos a la pasta cementícea, favoreciendo la compatibilidad entre los materiales.

En base a estos resultados se inició en el año 2018 el proyecto PID UTN 5341 en el que se propone la evaluación del comportamiento del material compuesto cartón-cemento utilizando aditivos para la conformación de elementos aglomerados aplicables en la industria de la construcción.

En 2018, con la finalidad de probar los desarrollos a escala de prototipo, se presentó y aprobó también un proyecto de financiamiento por parte de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación en su línea de Investigación Orientada.

Según informe del Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (CIPPEC), se estima que, en Argentina, la media de residuos urbanos generados per cápita es de 1,05 Kg/día, produciéndose en la ciudad de Santa Fe más de 190.000 toneladas por año. Según datos de la Subsecretaría de Ambiente de la ciudad, de las 540 toneladas de residuos sólidos que se recuperan anualmente, el 38,9% corresponde a papel y cartón y de este porcentaje, el

4% corresponde a cartón específicamente. Por lo tanto, la cantidad promedio de cartón desechado por año es de más de 8 toneladas. Se puede observar que se trata de un volumen significativo de residuos en la ciudad, ante esto se propone su reutilización contribuyendo al proceso de reciclado.

En diciembre de 2009, la Legislatura de la Provincia de Santa Fe establece la Ley 13.055, en la que se reconoce “la importancia de adoptar el concepto de “Basura Cero” como principio fundamental para la Gestión de Residuos Urbanos en su territorio”. Es a partir de esta Ley que la Provincia busca establecer un “principio de reducción progresiva de la cantidad de residuos depositados en rellenos sanitarios”, fijándose para el año 2030 la prohibición de disposición final de materiales reciclables o aprovechables en los mismos.

El material compuesto cartón-cemento resulta ser una buena alternativa para el tratamiento de residuos celulósicos, exceptuándolos de tratamientos químicos contaminantes. Además, por tratarse de tecnologías sencillas y accesibles, se logra contribuir con el desarrollo económico-social, permitiendo su aplicación en emprendimientos industriales, generando nuevas oportunidades de empleo.

El siguiente proyecto se enfoca en una alternativa de aprovechamiento de cartones de descarte para su aplicación en la industria de la construcción a partir de la producción de placas de cielo-raso, explicando las diversas técnicas y metodologías utilizadas para la selección de la materia prima, la preparación del material aglomerado con productos cementíceos y el proceso de fabricación de los elementos constructivos.

DESARROLLO

El proyecto se inicia con el análisis del circuito de reciclado de la ciudad de Santa Fe, a partir del cual se evaluó la trascendencia del cartón dentro del volumen total de residuos. Particularmente se prefirió una orientación hacia los cartones tipo lámina, en virtud de poseer dificultades para el reciclado convencional ya que presentan mayor concentración de tintas y baja presencia de pulpa.

Se desarrolló un plan de recolección, acordando la separación voluntaria de comercios de distintos rubros (quioscos, supermercados y farmacias) y viviendas familiares de una zona específica, donde se retiraron semanalmente distintas cantidades de material. Se contabilizó la totalidad del cartón recolectado y, considerando los comercios del mismo rubro existentes en la ciudad, se estimó la cantidad total de desecho. La extrapolación de las cantidades recolectadas al total de la ciudad coincide con la información publicada desde el área de medio ambiente de la municipalidad.

En el volumen recolectado, se identificó una gran variedad de cartones. Se estableció un procedimiento de clasificación visual y sensorial, y se analizaron las propiedades físicas y mecánicas del material.

Se realizó la preparación de muestras referidas a la norma IRAM-ATIPCA P3007 (2001), definiendo 4 probetas cuadradas de 50 mm de lado por lote, con las que se realizaron los procesos de medición, pesaje, orientación de las fibras y cálculo de densidades, gramajes y volúmenes, acordes a las Normas IRAM-ATIPCA P 3011 (2006), Norma IRAM-ATIPCA 3044 (2001) y IRAM-ATIPCA P 3009 (2001) respectivamente.

Como la mayor parte de los productos celulósicos, el cartón resulta muy ávido de agua, por lo que se realizaron pruebas de absorción, y se consideró dicha variable en la ejecución de los diferentes ensayos.

Respecto al tratamiento físico-mecánico del cartón se experimentó, en una primera instancia, el corte manual y con equipos de trituración según disponibilidad. Se alcanzaron dos alternativas con perspectivas de aplicaciones diferentes, partículas chipeadas y corte en tiras largas y angostas. En función de la disponibilidad de equipos en el mercado, los cuales se asemejan a máquinas trituradoras de documentos y que poseen dos ejes en paralelo con sierras transversales que permiten triturar el cartón, el proyecto se centra en elementos con partículas chipeadas.

Se evaluó la resistencia a tracción simple de cada tipo de cartón y la influencia del sentido de orientación de las fibras en el comportamiento mecánico y del humedecimiento del cartón en la resistencia. Para esto se diseñó una máquina de ensayo y se crearon probetas entalladas en la zona media, como se observa en la Figura 1 (a), con el objetivo de concentrar las posibilidades de rotura en la zona de menor sección. El equipo diseñado sostiene a la probeta desde sus extremos fijando el superior y permitiendo, mediante un dispositivo de agarre, aplicar carga en el extremo inferior hasta llegar a la rotura, ver Figura 1 (b). Se computa la carga máxima alcanzada y la sección transversal de la muestra para calcular la resistencia a tracción simple.

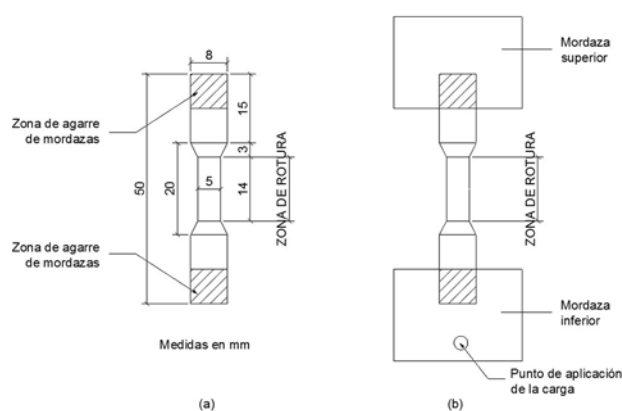


Figura 1. (a) Probeta para ensayo de tracción simple; (b) Dispositivo de ensayo para probetas.

Por otro lado, se efectuaron pruebas para evaluar el comportamiento del material compuesto cartón-cemento con la incorporación de aditivos químicos mejoradores de adherencia para analizar la posibilidad de generar elementos aglomerados. La resistencia mecánica de estos elementos se evaluó mediante ensayos de compresión simple sobre probetas cúbicas de 7 cm de lado, y ensayos de flexión compuesta sobre prismas de base cuadrada de 10 cm de lado y 40 cm de largo tomando como referencia las Normas ASTM D1037 (1999) e IRAM 1871 (2004) respectivamente.

Debido a los buenos resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente, que serán especificados en la siguiente sección, junto con la necesidad de finalizar la construcción de una oficina de la escuela de oficios del CECOV, ubicada en el puerto de la ciudad de Santa Fe, es que se decide elaborar placas de cielorraso con los elementos aglomerados estudiados. Estas serían utilizadas adoptando el sistema constructivo de placas de yeso para cielorraso, de 60 cm x 60 cm y 4 cm de espesor.

Dichas placas están formadas en un 25% de cartón, 40% agua, 30% de cemento y el 5% restante lo constituyen aditivos químicos (ligantes e impermeabilizantes).

Para la producción de estos elementos constructivos, se diseñó y fabricó un equipo, como se observa en la Figura 2. Este consiste en un marco cerrado rectangular formado por perfiles metálicos y una mesa de trabajo que se mueve longitudinalmente por medio de dos rieles paralelos. Esta mesa brinda la posibilidad de moldear dos placas en serie. Los moldes para las placas están formados por una estructura cuadrada de hierro del tamaño de la placa a moldear.



Figura 2. Equipo utilizado para la producción de placas de cielorraso

Previo al moldeo de las placas de cielorraso es necesario disponer de suficiente cartón pre-procesado, cortado en partículas de 0,1 cm x 0,4 cm, utilizando una trituradora de documentos convencional.

El proceso comienza mezclando en paralelo el cartón con una parte de agua y el impermeabilizante, para su humedecimiento y, por otra parte, el cemento con el agua restante y el ligante. Luego de unos minutos, se integran ambas mezclas, con la ayuda de una hormigonera. Una vez formada la pasta se la coloca en el molde para su moldeo.

Colocada la mezcla en los moldes se aplica una carga de 2 kg/cm² utilizando un gato hidráulico ubicado en la parte inferior de la mesa de trabajo de modo que, gracias a la reacción del marco cerrado, se genere presión sobre la placa, permitiendo alcanzar el espesor necesario.

Por último, las placas son dispuestas en bandejeros para su secado. En la Figura 3 se puede observar una placa luego del secado y previo al acabado superficial.



Figura 3. Placa de cielorraso moldeada.

Debido a que la superficie de los elementos moldeados presenta a la vista una gran heterogeneidad, poco usual en elementos para la construcción, se implementaron diferentes acabados superficiales. Por un lado, se utilizaron pigmentos, anilina, grafito y polvo de ladrillo para colorear la pasta y así obtener una superficie rugosa pero más agradable a la vista. Por otro lado, se siguieron las técnicas tradicionales de obra aplicando una mano de base y una de revestimiento proyectado para homogeneizar la superficie y el color (blanco en este caso).

Finalizado el proceso productivo, las placas de cielorraso fueron trasladadas hacia la oficina de la escuela de oficios del CECOVI para proceder a su colocación final, cómo se observa en la Figura 4.

El sistema de suspensión de las placas es el disponible comercialmente, constituido por perfilera de acero galvanizado y aluminio, la que se cuelga de la estructura de techo existente.



Figura 4. Placas colocadas en la oficina del puerto de la ciudad de Santa Fe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del estudio del circuito de reciclado de la ciudad de Santa Fe y las actividades de recolección diferenciada de cartones tipo lámina, se puede garantizar la disponibilidad de materia prima para el desarrollo del proyecto. Esto permite estimar además el volumen disponible para su eventual aplicación en un emprendimiento industrial.

Uno de los parámetros fundamentales que se adoptó para caracterizar los cartones fue el gramaje, y asociado a este, el espesor, con los que luego fue posible determinar las densidades y volúmenes. En la Figura 5, se indican los distintos gramajes que se obtuvieron de ejemplares analizados, donde se ha podido conocer que las muestras presentan una variación entre 217,30 g/m² y 263,29 g/m², sin que resulte posible encontrar una relación entre el color de la pasta celulósica y el gramaje. En la Tabla 1 se presenta la codificación adoptada para describir cada tipo de cartón, basado en una clasificación según color y dureza.

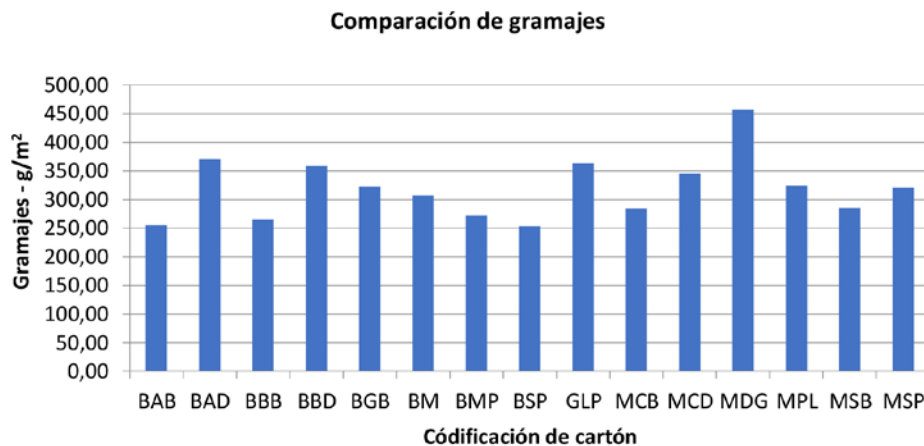


Figura 5. Gramajes obtenidos para cada clase de cartón reciclado.

Tabla 1. Clasificación de cartones.

CÓDIGO	REFERENCIA
BAB	Blanco Amarillo Blando
BAD	Blanco Amarillo Duro
BBB	Blanco Blanco Blando
BBD	Blanco Blanco Duro
BGB	Blanco Gris Blando
BM	Blanco Mate Liso
BMP	Blanco Mate Plastificado
BSP	Blanco Sin Plastificar
GLP	Gris Liso Plastificado
MCB	Marrón Con Blanco
MCD	Marrón Claro Duro
MDG	Marrón Duro Grueso
MPL	Marrón Plastificado Liso
MSB	Marrón Sin Blanco
MSP	Marrón Sin Plastificar

Los resultados de absorción obtenidos para todos los tipos de cartones fueron similares, con valores que alcanzaron el 300% en peso respecto de la masa de cartón. Aunque resulte complejo estandarizar los efectos por tratarse de un material proveniente del circuito de recolección, el cual aporta variaciones inherentes a la materia prima, estos valores condicionan las dosificaciones por su influencia en la trabajabilidad de la pasta fresca, y las resistencias finales obtenidas.

En la Figura 6, se resumen los resultados obtenidos de los ensayos a tracción simple para cada clase de cartón. Como se puede observar, se alcanzan mayores resistencias en los cartones marrones, siendo los menos resistentes los cartones blancos. También se aprecia la variación de resistencia según la orientación de las fibras, resistiendo más los que se encuentran cortados en el sentido paralelo que aquellos cortados en sentido perpendicular. Se observa poca influencia de la humedad en los resultados, alcanzándose valores similares en las piezas secas y humedecidas. En base a esto es que se decidió utilizar el cartón en el sentido paralelo a las fibras y sin humedad para la elaboración de los elementos aglomerados. El promedio de resistencias obtenido teniendo en cuenta todos los tipos de cartones con las condiciones mencionadas anteriormente es de 26,52 MPa.

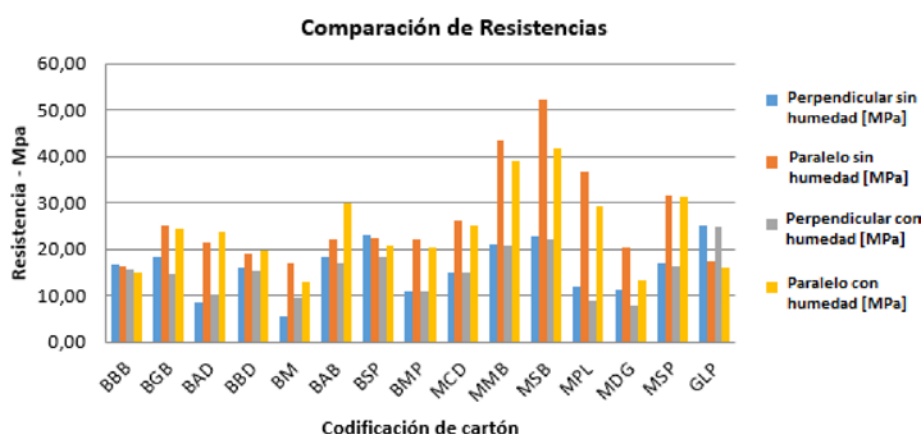


Figura 6. Resistencia a tracción simple de cada tipo de cartón en MPa.

En cuanto a la elaboración del material aglomerado, se observa que la incorporación de aditivos químicos mejora la trabajabilidad, el endurecimiento y la resistencia de la pasta, resultando fundamental para resolver los problemas de compatibilidad y adherencia entre el cartón y la pasta cementícea, permitiendo la elaboración de elementos aglomerados.

Haciendo referencia a la terminación superficial, este aspecto resulta fundamental desde el punto de vista estético, teniendo en cuenta que uno de los principales objetivos de las placas de cielorraso es brindar una terminación agradable.

En el marco del proyecto de investigación se pretende avanzar en el desarrollo de placas que, además de brindar una terminación adecuada, cuenten con aislación térmica y acústica. Esto permitiría brindar plusvalía al producto final.

Por otra parte, habiendo elaborado las placas se realizaron pruebas para evaluar su comportamiento en el exterior, dejándolas a la intemperie durante varios días. Se pudo observar que las mismas no sufrieron deterioro alguno, aspecto a validar en próximas etapas de la investigación.

Asimismo, se encuentra actualmente en discusión la posibilidad de incluir todos los cartones que conforman el universo de residuos, sin limitar la aplicación a los cartones tipo lámina exclusivamente. De esta forma se ampliaría notablemente la posibilidad de disponer de materia prima para una producción a escala mayor.

Bajo estas premisas, se decide continuar con la evaluación del material aglomerado explorando su posibilidad de aplicación en otros elementos constructivos tales como productos para cerramientos, material de relleno para aislación, placas acústicas, entre otros.

CONCLUSIONES

La definición del producto está sustentada en la Industria de la Construcción como uno de los motores de la economía nacional, presentando sus materiales una prolongada vida en servicio, lo que aumenta el ciclo de vida de un producto reciclado, en este caso, el cartón. A su vez, se observa un incremento interanual positivo de la demanda de materiales utilizados en la construcción en seco, confirmando una tendencia al uso de elementos prefabricados en obra.

Al pensar en términos de producción industrial, el cartón recuperado y utilizado para las placas permitiría reducir la cantidad de cartón desechada anualmente, contribuyendo de esta forma a reducir el impacto ambiental.

El producto final que se desea obtener para la utilización en el ámbito de la construcción, se alcanza de una forma rápida, sencilla y accesible, permitiendo que no se requiera mano de obra calificada ni un monto elevado de inversión inicial, contribuyendo al desarrollo económico-social.

Las placas colocadas en la oficina construida en la escuela de oficios del CECOVI, dieron excelentes resultados.

AGRADECIMIENTOS

Al personal que conforma las diferentes áreas internas del CECOVI por su apoyo en el desarrollo experimental de este proyecto.

A la empresa TELPLAST SRL y en particular a su titular, siempre dispuesta para colaborar con el proyecto, ofreciendo muestras de productos y sugerencias para resolver las dificultades de adherencia entre los materiales.

REFERENCIAS

ASACTEI Investigación Orientada, (2018). Proyecto 2010-060-2016 "Desarrollo de placas de cielorraso a partir del aglomerado de cartón reciclado, polímeros y cemento".

CARRASCO, M., PICCINI, J., MUÑOZ, H., SÁNCHEZ, M., GREYER, R., DEFAGOT, C., (2013). "Propuesta de cielorraso constituido por aglomerados de cascarilla de algodón". En: 1° Congreso Alconpat, Mendoza, Argentina.

CITRONI, J., QUIROGA, A., MARCOALDI, N., RINTOUL, I., (2013). "Parámetros de sustentabilidad de los compuestos de madera cemento frente a materiales de construcción tradicionales".

En: Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales SAM-CONAMET, Puerto Iguazú, Argentina.

Legislatura de la Provincia de Santa Fe, (2009). Ley Provincial 13.055. Disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/normativa/item.php?id=109524&cod=d188ecfdc85bee2cfbede037271cb-72f#:~:text=LEY%2013055&text=Descripci%C3%B3n%3A%20LA%20PROVINCIA%20RECONOCE%20LA,S%C3%93LIDOS%20URBANOS%20EN%20SU%20TERRITORIO>.

Norma ASTM D1037 (1999). "Métodos de prueba estándar para evaluar las propiedades de fibra de base de madera y materiales de panel de partícula".

Norma IRAM 1871 (2004). "Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido".

Norma IRAM-ATIPCA P 3007 (2001). "Papel y cartón. Muestreo para determinar localidad promedio".

Norma IRAM-ATIPCA P 3011 (2006). "Papel y cartón. Determinación del espesor y la densidad aparente de hojas aisladas o en mazos".

Norma IRAM-ATIPCA P 3044 (2001). "Papel y cartón. Determinación de la dirección de máquina".

Norma IRAM-ATIPCA P 3009 (2001). "Papel y cartón. Determinación del gramaje".

PID UTN 4804, (2017). "Evaluación del aglomerado de cartón con cemento para su utilización como material de la construcción".

PID UTN 5341, (2018). "Evaluación de material compuesto cartón-cemento aglomerado con cemento y aditivos para su uso como material de construcción".