



Identificación del Trabajo	
Área:	Materiales
Categoría:	Alumno
Regional:	Santa Fe

Evaluación de material compuesto cartón-cemento para su uso como material de construcción

Lucía ARCAS, Ana DE MATTIA, Paula INVINKELRIED

CECOVI, Lavaisse 610, Santa Fe, Facultad Regional Santa Fe, UTN

luciaarcas13@gmail.com , anadmtt@gmail.com , paula.invinkelried@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfredo Marcipar Schenquer, en el marco del proyecto "Evaluación de material compuesto cartón-cemento aglomerado con cemento y aditivos para su uso como material de construcción." (2019)

Resumen

El siguiente trabajo detalla el estudio de las propiedades del cartón tipo lámina recuperado de los residuos, sus características físicas y mecánicas, y su compatibilidad con el cemento; el objeto es alcanzar un material aglomerado que sea aplicable a la industria de la construcción.

El cartón en estudio es un material producido mediante la adhesión de múltiples capas de pasta de papel y cuenta con una de sus caras entintada y/o barnizada. Junto con el papel, conforman el 38.9% del total de material recuperado de residuos sólidos en la ciudad de Santa Fe.

El desarrollo del proyecto permite alcanzar un adecuado conocimiento del material, las cantidades disponibles y las características pertinentes para el uso del mismo en elementos constructivos. A su vez se logra tomar conciencia de la influencia de los distintos factores a tener en cuenta a la hora de la planificación y realización de los ensayos.

Palabras Claves: Cartón; Cemento; Aglomerados; Ensayos

1. Introducción

La Legislatura de la Provincia de Santa Fe establece en diciembre de 2009 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" y "fomentar el uso de objetos o productos en cuya fabricación se utilice material reciclado o que permita la reutilización o reciclado posterior", fijándose para el año 2030 la prohibición de disposición final de materiales reciclables o aprovechables en los mismos. El material compuesto cartón-cemento resulta 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, generando oportunidades de empleo.

Según información de la subsecretaría de Ambiente de la municipalidad de Santa Fe publicada en “Santa Fe cómo vamos” (2017), de la totalidad de material recuperado de residuos sólidos urbanos, el 38.9% corresponde a cartón y papel, siendo este el de mayor importancia. Asimismo, se observa un incremento anual de residuos sólidos urbanos, puntualmente en residuos domiciliarios (Tablas 1 y 2). Se advierte que la cantidad de cartón y papel como residuo en la ciudad es significativa, por lo que la finalidad de este proyecto plantea su reutilización contribuyendo al proceso de reciclado. Cabe destacar que, en la ciudad de Santa Fe, se implementa la Ordenanza N° 11.549 de recolección diferenciada de residuos (2008), la cual permite darle a cada uno el tratamiento adecuado y facilita la recolección del insumo necesario para este proyecto.

En base a la información relevada, se puede expresar la posibilidad de llevar adelante la planificación de un emprendimiento industrial, destinado al aprovechamiento de un material reciclado y su aplicación en el ámbito de la construcción. Esto permite la recuperación de cartones de descarte, buscando otorgarles valor agregado, al mismo tiempo que se logra disminuir el impacto ambiental.

Tabla I: Gestión de residuos de la ciudad de Santa Fe. Subsecretaría de Desarrollo Social-MCSF (2017).

Título	GESTIÓN DE RESIDUOS			
Fuente	Secretaría de Desarrollo Social- MCSF			
Año	Residuos Recolectados	Ingreso a Planta de Recuperación	Material Recuperado Comercializado	Proporción de Material Recuperado Comercializado
2008	98.067	7.839	539,6	6,9%
2009	101.420	11.759	738,2	6,3%
2010	105.272	8.284	678,3	8,2%
2011	131.977	6.543	951,4	14,5%
2012	129.475	5.089	770,5	15,1%
2013	129.840	5.894	851,5	14,4%
2014	139.248	4.233	710,6	16,8%
2015	151.971	3.053	536,9	17,6%
2016	167.033	2.868	650,5	22,7%
2017	190.143	1.725	541,4	31,4%

Tabla II: Residuos recolectados en la ciudad de Santa Fe. Subsecretaría de Desarrollo Social-MCSF (2017).

Título	RESIDUOS RECOLECTADOS			
Fuente	Secretaría de Desarrollo Social- MCSF			
Año	Total - Toneladas	Población estimada	Tasa de Generación Total de Basura - Anual kg por habitante	Tasa de Generación de Basura Domicilio - Anual kg por habitante
2011	131.977	392.920		194
2012	129.475	395.440	327	190
2013	129.840	397.976	326	180
2014	139.248	400.529	348	175
2015	151.971	403.097	377	192
2016	167.033	405.683	412	195
2017	190.143	408.284	466	219

El trabajo se centra en el estudio de una alternativa de aprovechamiento del material reciclado para su aplicación en la industria de la construcción, explicando las diversas técnicas y metodologías utilizadas para la selección de la materia prima, el aglomerado con productos cementíceos y moldeo de la mezcla propiamente dicha.

2. Metodología

La primera etapa de la investigación consistió en la observación y análisis del circuito de reciclado. Se prefirió una orientación hacia los cartones tipo lámina en virtud de poseer dificultades para el reciclado convencional; éstos cartones poseen mayor concentración de tintas y baja presencia de pulpa.

Para evaluar la trascendencia del residuo dentro de los circuitos, se realizó un plan de recolección, acordando la separación voluntaria de comercios de distintos rubros (quiosco, supermercado y farmacia) 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.

En el material recolectado se identificaron una gran variedad de cartones, por lo que se propuso una clasificación del mismo. En primera instancia, se realizó una clasificación visual en función del color de la pasta celulósica (Blanco, Marrón y Gris) y por características sensoriales percibidas al tacto, tal como se indica a continuación:

Tabla III: Codificación 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 Gueso
MPL	Marrón Plastificado Liso
MSB	Marrón Sin Blanco
MSP	Marrón Sin Plastificar

Con los lotes definidos 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, las cuales fueron medidas y pesadas. Además, se identificó la orientación de sus fibras y se calcularon sus densidades, gramajes y volúmenes, acorde a las Normas IRAM-ATIPCA P 3011 (2006), Norma IRAM-ATIPCA 3044 (2001) y IRAM-ATIPCA P 3009 (2001).

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

Respecto al tratamiento físico-mecánico, se experimentó, en una primera instancia, el corte manual y con equipos de oficina según disponibilidad. Se alcanzaron

dos alternativas con perspectivas de aplicaciones diferentes, partículas chipeadas y corte en tiras largas y angostas.

Se evaluó la resistencia a tracción de cada tipo de cartón, la influencia del sentido de orientación de las fibras en el comportamiento mecánico y la variación de la resistencia en función del humedecimiento del cartón. Para esto, se crearon probetas entalladas en la zona media tal como se muestra en la figura 1, que se someten a ensayos de tracción simple.

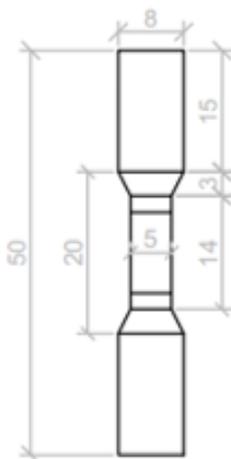


Figura 1: Probeta para ensayo de tracción simple. Medidas en mm.

Para las pruebas se diseñó una máquina de ensayo la cual permitió medir la resistencia deseada sosteniendo la probeta desde sus extremos, fijando el extremo superior y permitiendo, mediante un dispositivo de agarre, adicionar carga al extremo inferior, como se muestra en la figura 2. La sección transversal de la muestra se midió con calibre y se determinó la carga aplicada con una balanza.



Figura 2: Dispositivo de ensayo.



Figura 3: Mordazas para ensayo de tracción.

Se efectuaron pruebas de adherencia entre cartón y cemento, pretendiendo llegar a valores de adherencia que tuvieran relación con las resistencias a tracción del

cartón obtenidas. Para su ensayo, se planeó utilizar el mismo dispositivo que para el ensayo de tracción y las probetas mencionadas ut supra. Se aglomeraron dos medias probetas en un área específica y se midió la resistencia al corte de las mismas. Para ello, se combinaron distintos grados de humedecimiento, alternando las caras de contacto (con y sin tinta), de manera de verificar la influencia de éstos parámetro sobre los resultados.

A escala de laboratorio, se cortaron probetas donde se midieron distintos parámetros de evaluación. Se adoptó una dosificación base, y se desarrolló una forma de moldeo específica para la pasta.

En la realización del ensayo se encontraron dificultades al momento del pegado entre el cartón y el cemento, lo cual impidió el estudio de la adherencia en las probetas utilizadas. Ante esta situación, se decidió aumentar la superficie de contacto entre la pasta y el cartón. Para validar los resultados de resistencia obtenidos se realizaron ensayos de tracción utilizando probetas de distintas dimensiones. Se adoptaron tres tamaños (Figura 4). Las dimensiones de la probeta N° 2 son del doble de longitud que las de la probeta original (N° 1), mientras que las correspondientes a la probeta N° 3 son del triple.

Se ensayaron cinco muestras por cada tamaño.

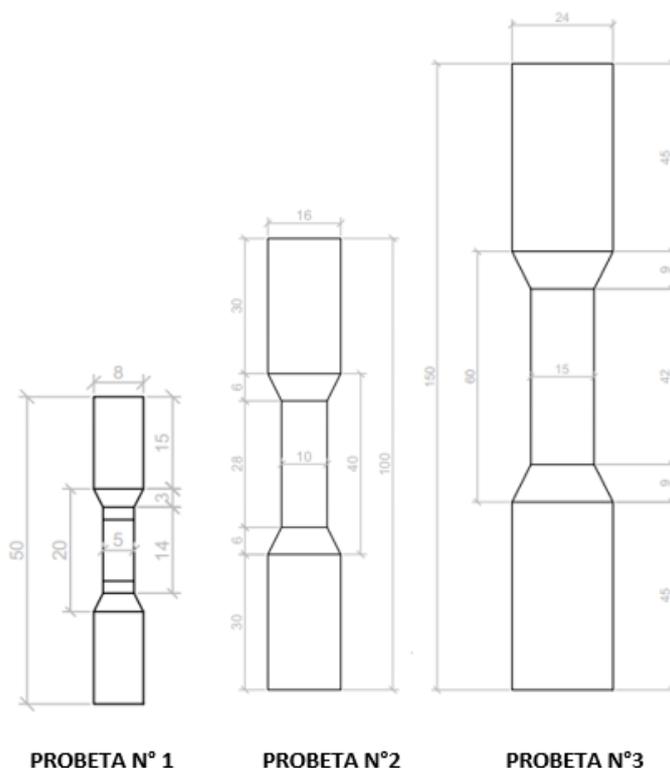


Figura 4: Cambio de escala de probetas. Medidas en mm.

Para llevar a cabo el ensayo se debió modificar el dispositivo. Se incrementó el tamaño de las mordazas y se les realizaron entalladuras para evitar que la probeta resbale.

A partir de la necesidad de moldear elementos aglomerados y en función de los modos de corte del cartón disponibles, se han seleccionado dos tipos de productos. Uno

de ellos asociado a cortes pequeños (chipeado) de tipo superficial (placa), y el otro de tipo volumétrico (bloque) asociado al corte largo (lana). Se verificó que el corte manual era inviable, por lo que se utilizó un equipo comercial. A partir de la disponibilidad en el mercado, la investigación se centra en elementos con partículas “chipeadas”.

La resistencia mecánica de los elementos aglomerados fue evaluada 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). Además, se hicieron pruebas con la implementación de polímeros, buscando mejorar la adherencia.

En cuanto al moldeo de las probetas, se procedió con el llenado de moldes con material suelto y la aplicación posterior de presión sobre toda la superficie, permitiendo que la mezcla se distribuya de manera uniforme, obteniendo una mayor densidad en el elemento moldeado. Los valores de presión a aplicar sobre la superficie deben ajustarse acorde al tipo de producto que se desee obtener (densidad), alcanzándose disminuciones del volumen del 100% respecto del material en estado suelto.

3. Resultados y Discusión

La recolección de la materia prima permitió notar una mayor presencia de cartones corrugados por sobre los cartones tipo lámina, sin embargo se garantiza la disponibilidad de este último material para la ejecución del proyecto. Esto hace posible estimar el volumen disponible para pensar en un futuro emprendimiento.

Al evaluar la resistencia a tracción simple de los cartones con las probetas originales se obtienen mayores valores 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, se decide utilizar el cartón en el sentido paralelo a las fibras y sin humedad. El promedio de resistencias obtenido teniendo en cuenta todos los tipos de cartones con las condiciones mencionadas anteriormente es de 26,515 MPa.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos de ensayos a tracción simple para cada clase de cartón (Figura 5).

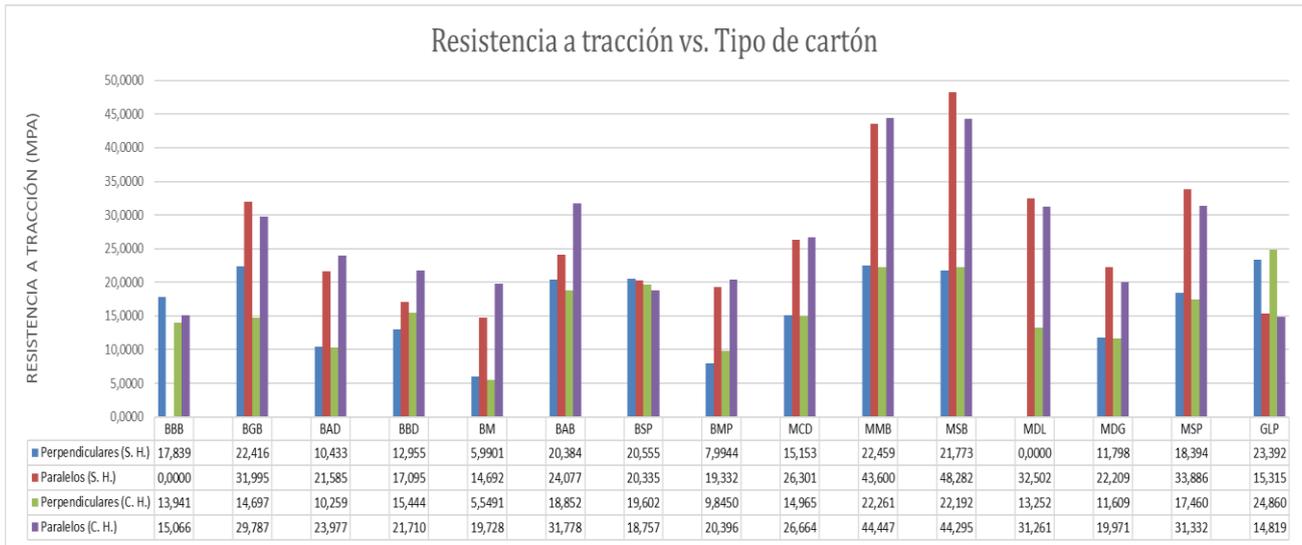


Figura 5: Resistencia a tracción de cada tipo de cartón en MPa.

Se evaluaron otros parámetros para la clasificación de los cartones, con el objetivo de encontrar una correlación entre estos y la resistencia a tracción. Dichos parámetros son: espesor, gramaje y densidad. Los mismos son determinados a partir de cuatro probetas cuadradas de 5 cm de lado por cada tipo de cartón, comparando finalmente los correspondientes promedios.

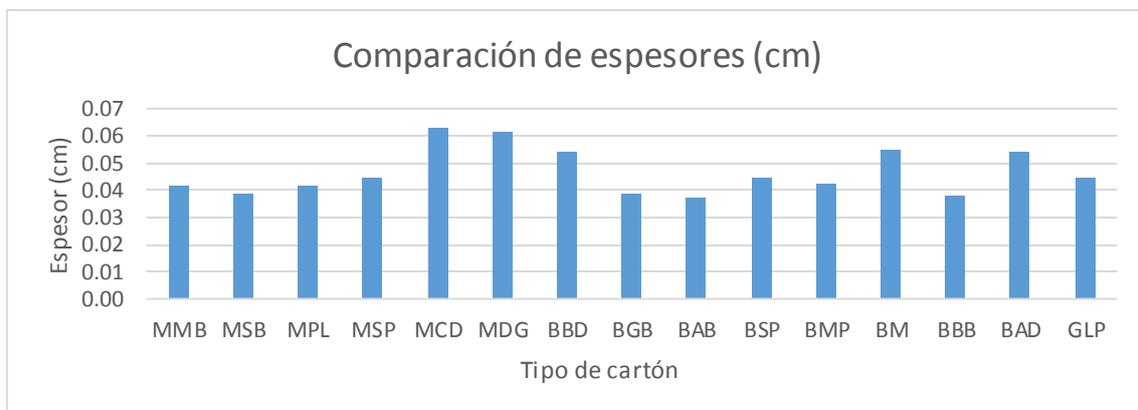


Figura 6: Espesores.

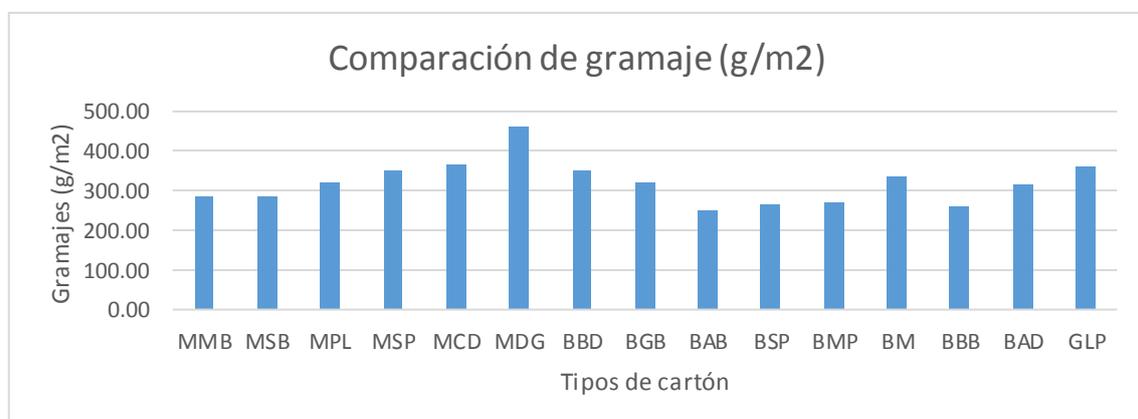


Figura 7: Gramajes.

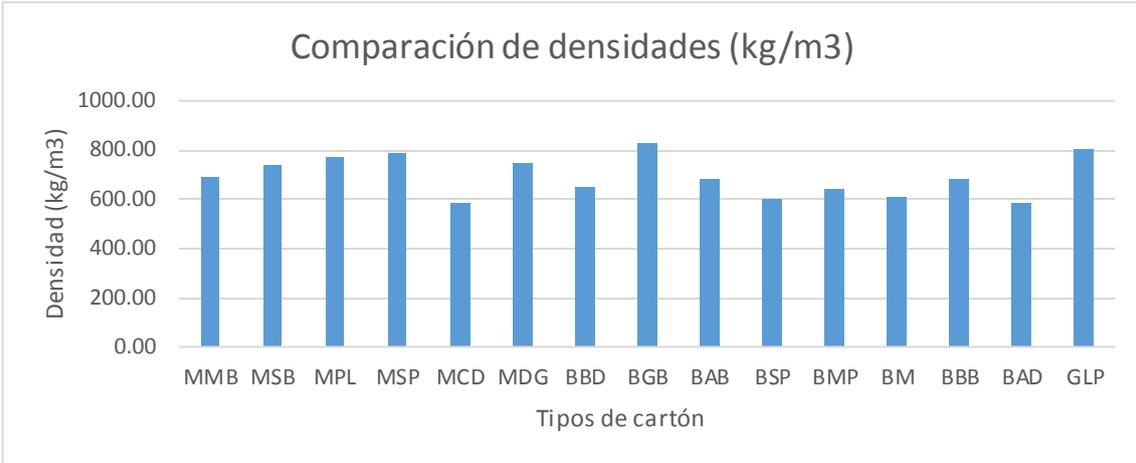


Figura 8: Densidades.

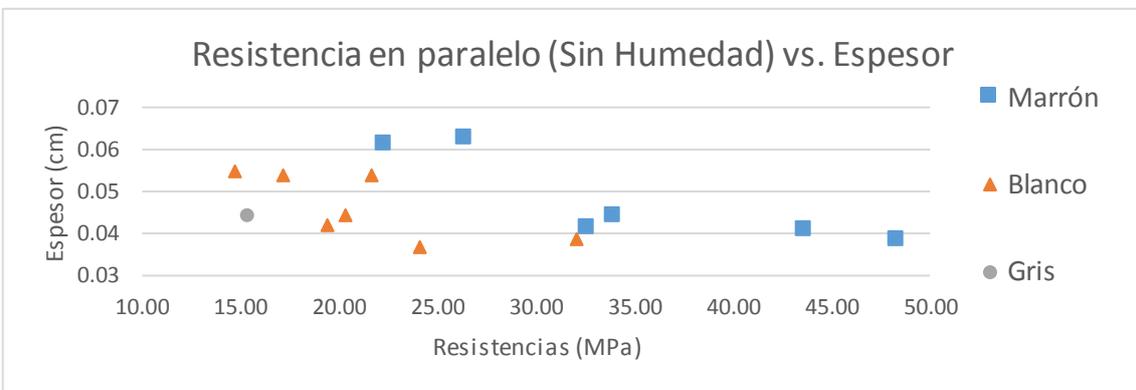


Figura 9: Resistencia a tracción vs Espesor.

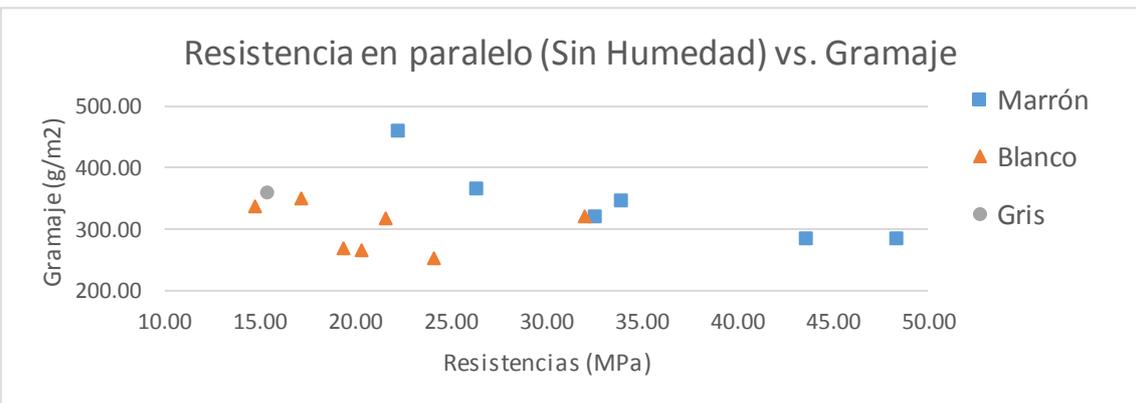


Figura 10: Resistencia a tracción vs Gramaje.

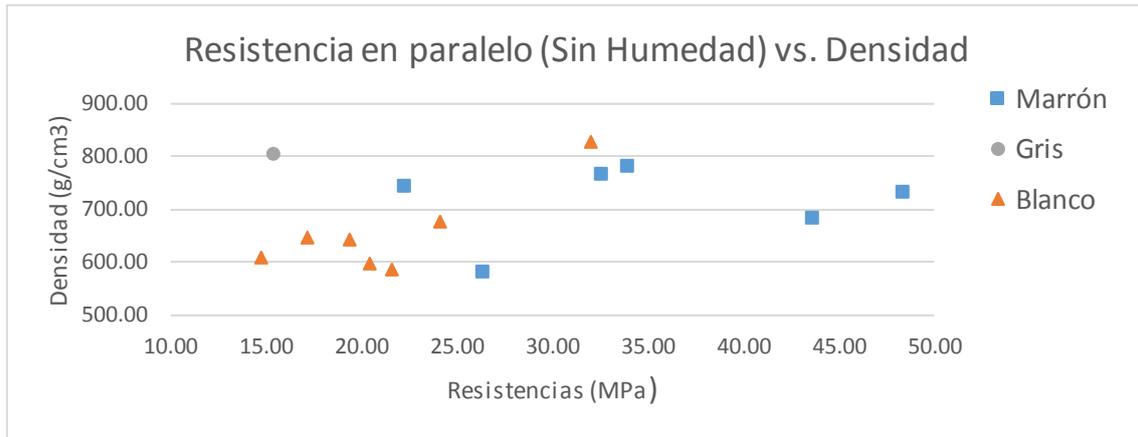


Figura 11: Resistencia a tracción vs Densidad.

Comparando los resultados puede observarse que no existe una relación directa de los parámetros evaluados con la resistencia de cada tipo de cartón en base a la clasificación adoptada. Por otro lado, dado que todos los cartones arrojan valores de resistencia cercanas al promedio anteriormente mencionado y debido a la baja presencia de los cartones menos resistentes en muestras tomadas al azar, se ha decidido la utilización de todos los tipos. De esta manera se evita la compleja tarea de clasificación para su separación.

Los resultados de absorción obtenidos para todos los tipos de cartones son similares, con valores que alcanzan 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.

Tal como se mencionó anteriormente, se realizan ensayos de tracción para la validación del cambio de escala. Se observa que al realizar el cambio de probeta a una de mayor tamaño, los desvíos en los resultados se ajustan más a la tendencia central, disminuyendo así la gran variabilidad que existe en ellos, como se puede observar en la figura 12. Esto se debe a que a menor tamaño, más significativos son los errores que se puedan introducir por más pequeños que sean, como por ejemplo quiebres en la probeta al trabajarla o pequeños cortes fuera del área de ruptura.

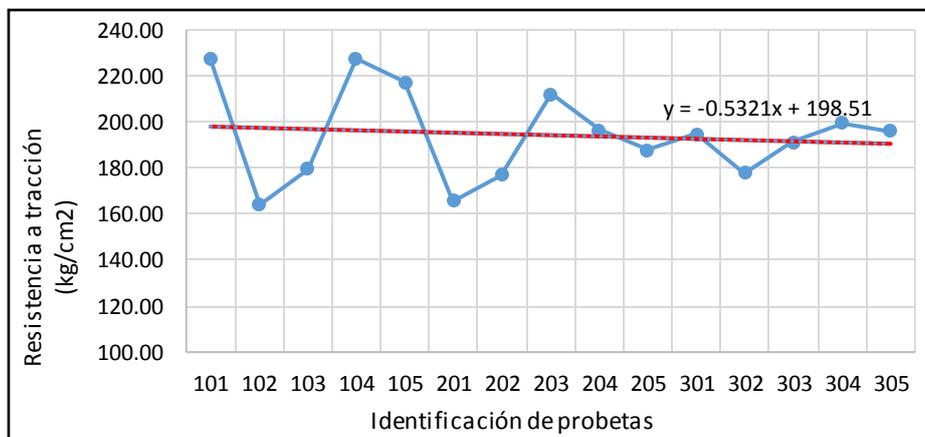


Figura 12: Dispersión de resultados para distintas probetas.

Los resultados obtenidos de adherencia en mezclas que sólo incorporan al cemento como aglomerante no alcanzaron los valores de la resistencia que posee el cartón actuando aisladamente, dejando de manifiesto la necesidad de un tratamiento que compatibilice los materiales a fin de poder alcanzar los valores esperados.

Se observa que la adición de polímeros ha mejorado la maniobrabilidad, 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. Actualmente se continúan estudiando distintas dosificaciones en busca de mejores resultados.

4. Conclusiones

Se logró conocer el material, clasificarlo a partir de distintos parámetros y evaluar su comportamiento como material aglomerado con cemento, así como también fue posible tener noción de la disponibilidad del mismo. En base a esto, se puede garantizar la provisión de cartón como materia prima para un posible emprendimiento industrial.

Se consiguió definir la importancia del tamaño de probetas utilizadas en los distintos ensayos y su influencia sobre los resultados obtenidos con nuestro dispositivo. También fue posible advertir la intervención de otros factores tales como la velocidad de ensayo, las características del equipo y ciertas cuestiones inherentes al material, como la humedad y la orientación de las fibras, sobre dichos resultados.

No se lograron buenos resultados en el comportamiento del material con la pasta de cemento, lo cual lleva a concluir que no existe una compatibilidad adecuada entre los mismos, siendo necesaria la adición de químicos a la pasta.

Resulta necesario continuar con el estudio de polímeros y su intervención en la pasta cementícea, evaluando diferentes dosificaciones en busca de alcanzar mejores resultados.

Bibliografía

Legislatura de la Provincia de Santa Fe, Ley Provincial 13.055, 2009 (ley provincial).

Boncompagni, L., Cohan, P. (2017). Ambiente y Gestión de Riesgos. Santa fe Cómo Vamos.

Mohamed, M., Ghorbel, E., Wardeh, G. (2010). Valorization of micro-cellulose fibers in self-compacting concrete. Construction and Building Materials, Introduction, 1.

Norma IRAM-ATIPCA P 3007 (2001): Papel y cartón. Muestreo para determinar la calidad 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.

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.