

PERFILES DE PLÁSTICO RECICLADO PARA ABERTURAS

Eje 1: Innovación en sistemas constructivos/estructurales

Gonzalez Laría Julian¹

Gaggino Rosana²

Kreiker Jerónimo³

Positieri María Josefina⁴

Peisino Lucas⁵

¹ Centro Experimental de la Vivienda Económica, Argentina, juliangonzalezlaria@gmail.com

² Centro Experimental de la Vivienda Económica, Argentina, directora@ceve.org.ar

³ Centro Experimental de la Vivienda Económica, Argentina, jkreiker@ceve.org.ar

⁴ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad regional Córdoba, Argentina, mpositieri@gmail.com

⁵ Centro Experimental de la Vivienda Económica, Argentina, lpeisino@ceve.org.ar

RESUMEN

Los materiales compuestos son una combinación de dos o más componentes, que combinan sus propiedades para generar un nuevo material. Dentro de este campo existen estudios sobre la tecnología para el reciclado de plásticos como el Polietilen-tereftalato (PET) y Polietileno (PE), utilizados en la producción de contenedores y films para alimentos.

Por otra parte numerosos autores han evaluado la utilización de PET, PE y EVA, entre otros para la producción genérica de tableros, sin mayor análisis de sus posibles usos en otras áreas. En este trabajo se estudiaron las características de procesamiento y físicas de un material compuesto de PET, PE y otros plásticos. Se obtuvieron resultados positivos de resistencia mecánica a compresión, flexión y tracción según la normativa vigente evaluando su aplicabilidad en materiales de construcción.

Mediante microscopia SEM, se determinó que la distribución de los dos plásticos ocurre de manera homogénea, otorgándole así propiedades uniformes a toda la pieza realizada con este material compuesto. Los ensayos en probetas arrojaron valores de resistencia a compresión y flexión que alcanzaron los 31 MPa y 13 MPa respectivamente.

Se observó que durante el proceso de inyección se genera un ordenamiento de las fibras en el material. Resultando en que el mismo posee un comportamiento anisotrópico, similar a la madera. Las variables de porcentajes de la mezcla y temperatura de extrusión, fueron optimizadas para la producción de componentes. Se realizaron piezas de perfilera de plástico macizas, en base a un



proceso de extrusión económico y con estos, aberturas para el marco de un diseño de ventana ampliamente utilizado en la vivienda popular.

Se concluyó que el material compuesto de PET y PE 100% reciclado posee preliminarmente buenas propiedades mecánicas y es aplicable a la producción de perfiles de ventanas con un proceso productivo innovador, sencillo y económico.

PALABRAS CLAVES: NUEVOS MATERIALES - TECNOLOGIAS APROPIADAS - PLASTICO RECICLADO - ABERTURAS

1. INTRODUCCION

Si bien las tecnologías de reciclado para los polímeros plásticos de mayor consumo (Wilson, 2015) como Polietileno-tereftalato (PET) o Polietileno (PE) han sido investigadas y desarrolladas en los últimos años, en la mayoría de estos casos su inclusión en nuevos materiales se realiza con la molienda y la incorporación de los mismos como áridos.

Aunque el reciclado mecánico de plásticos para carga en mezclas de cemento, presenta la ventaja de la incorporación del residuo en la producción, se ha probado que algunas propiedades técnicas de los morteros y hormigones con el agregado de plásticos se ven afectadas negativamente. Son destacables las propiedades de los mampuestos de plástico PET desarrollados por Gaggino (2009) o la mejora frente a la aparición de fisuras por dilatación o a la retracción a bajas temperaturas, de algunos hormigones con fibras plásticas (Choi, Moon, Chung, & Cho, 2005)(Chandra, Aavik, & Berntsson, 1982). Además en el primer caso, la tecnología fue transferida a numerosos productores.

Sin embargo recientemente nuevos métodos para la incorporación del plástico PET, en procesos de reciclado y nueva producción de piezas moldeadas han sido investigados. En estos a diferencia de los anteriores son aprovechadas todas sus características técnicas como, facilidad en el moldeo, resistencia mecánica, impermeabilidad y posibilidad de reciclado en procesos sucesivos. Ejemplo de esto son los desarrollos de plásticos mezcla de PET y PE, con aditivos en algunos casos, (Yamada, Tamada, Kunimune, & Hamada, 2012)(Navarro, Ferrándiz, López, & Seguí, 2008) que permiten reincorporar el plástico nuevamente a procesos de inyección o extrusión obteniendo piezas de propiedades mecánicas similares a las de los vírgenes.

En este caso se investigó y desarrolló, dentro de la misma temática, la producción de piezas por extrusión de un nuevo material compuesto por plástico PET con PE agregado 100% de reciclado. El plástico PET fue obtenidos del reciclado directo de las botellas de bebida, de residuos sólidos urbanos (RSU) sin separación de su etiqueta o tapa. El polietileno del reciclado de los films plásticos compuestos de "Silo bolsa" de uso común en la actividad agrícola. Se realizó una etapa exploratoria de estudio sobre las condiciones de procesamiento del material y la evaluación de algunas de sus propiedades físicas. Se determinó una formulación seleccionada sobre la cual se hicieron los ensayos determinados para tal caso.

Finalmente obteniendo resultados positivos, se estudio la aplicabilidad de este nuevo material compuesto a la producción de perfiles plásticos, para la fabricación de aberturas. En los prototipos desarrollados con las piezas de reciclado, se evidenció un buen comportamiento frente a las técnicas de carpintería tradicionales.



2. DESARROLLO

Proceso productivo

La obtención de los materiales triturados para su extrusión se realiza mediante la molienda en el caso del PET, en molinos de triturado tradicionales de cuchillas, y en el caso del PE el residuo es obtenido de recicladores comerciales de la ciudad de Córdoba.

Para la elaboración de piezas del material se utilizó la técnica de extrusión, muy difundida en el sector productor de este tipo de componentes. Realizándola en este caso con una modificación por el ingreso del material, a continuación de la extrusión, en un molde-guía donde se completa el proceso de moldeado y enfriado.

Así se realizaron piezas prismáticas para ensayos de distinto tipo y en el caso de la perfilería de carpintería, esta técnica fue adaptada a moldes más complejos producidos en chapa plegada. El material es extruido correctamente y las piezas obtenidas mostraron una buena precisión y terminación para la producción de prototipos.

Materiales y equipamiento

PET (poletilentereftalato): Plástico obtenido de recolección diferenciada sin mayor tratamiento, triturado a 3mm de tamaño máximo de partícula.

PE (polietileno): Plástico peletizado comercial obtenido del reciclado de films plásticos de la actividad agrícola, triturado, lavado y secado.

Extrusora: De uso comercial de simple husillo, con tres fases de calentamiento. Potencia de motor 2,2 kW y capacidad de plastificación de 500cc/min.

Resultados

Se comenzó realizando estudios exploratorios sobre los tiempos de extrusión de mezclas distintas midiendo el tiempo requerido para la extrusión de 1 kg del material. Se evaluaron distintas formulaciones con diferente proporción de plástico componente en la extrusión.

Tabla 1. Tiempos de extrusión de formulaciones en distintas proporciones de PET/PE

Formula	PE (g)	PET (g)	EVA (g)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
F1	300	700	-	2'02''	240
F2	400	600	-	2'13''	240
F3	500	500	-	1'49''	240
F4	600	400	-	1'58''	240
F5	700	300	-	1'48''	240



Según indican los tiempos de proceso, el plástico PET, de alta viscosidad, aumenta el tiempo de extrusión de la mezcla. Por otra parte las mezclas obtenidas son macroscópicamente homogéneas, ver Figura 1. Otra variable analizada es el tamaño de trituración del plástico PET, que incide en los tiempos de procesado de las mezclas. Se decidió utilizar el tamaño de molienda de 3mm de diámetro máximo, ya que con esta granulometría se consiguió una buena fluidez.

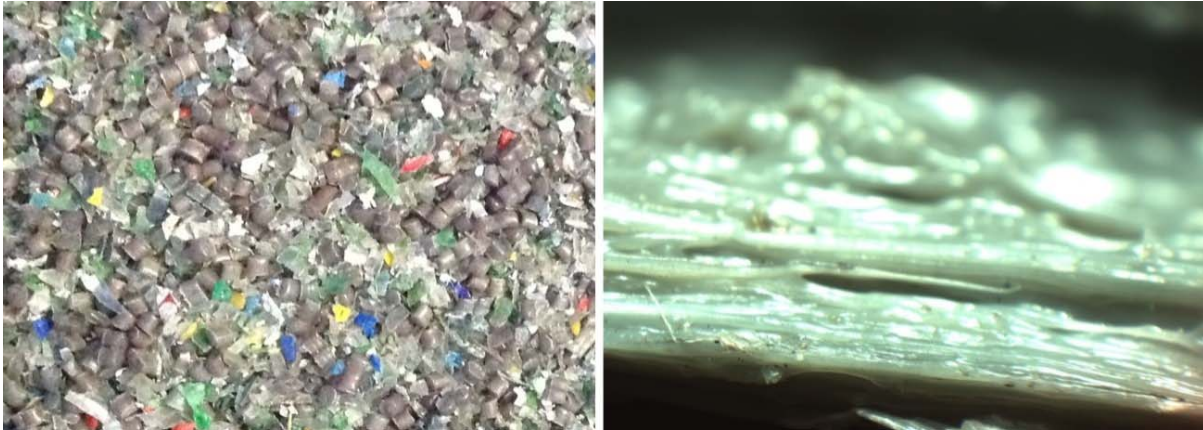


Fig. 1. Mezcla triturada previa a la extrusión (izquierda) Mezcla extruida (derecha).

Debido a la incorporación de una mezcla de plásticos, resultado de importancia detectar las temperaturas de trabajo óptimas que permitieran una buena extrusión y fluidez, sin alcanzar valores de degradación de los materiales. El plástico PET, cuya temperatura de fusión es de 260 °C, es especialmente sensible a estos efectos (Itim & Philip, 2015) (Nait-Ali, Colin, & Bergeret, 2011). De esta forma la temperatura de extrusión utilizada fue de 245 °C, evitando la descomposición del mismo, pero un moldeo correcto.

En la práctica se observó que por debajo de los 220 °C, las partículas de PET permanecían sólidas, lo cual imposibilitó una correcta homogeneización. Se observa en la Figura 1, el material compuesto con sectores de plástico no fundido, dentro de los rangos de temperatura de ablandamiento. Presumiblemente el plástico mezcla obtenido posee fases de PE fundido y de PET no fundido totalmente, lo cual fue observado en trabajos anteriores (Navarro et al., 2008). La densidad de la mezcla moldeada fue variable de acuerdo a la correcta extrusión o no, una evaluación de las distintas piezas arrojó un valor promedio de $D = 0.82 \text{ g/cm}^3$ pero con una gran variabilidad, que se grafica en la Figura 2. De esta forma se hace evidente como el método de moldeo del material determinó su densidad, así como la homogeneidad de la mezcla, la correcta fusión y la precisión con que se obtuvieron distintas piezas. Estimamos que esto se trasladaría a la producción de piezas.

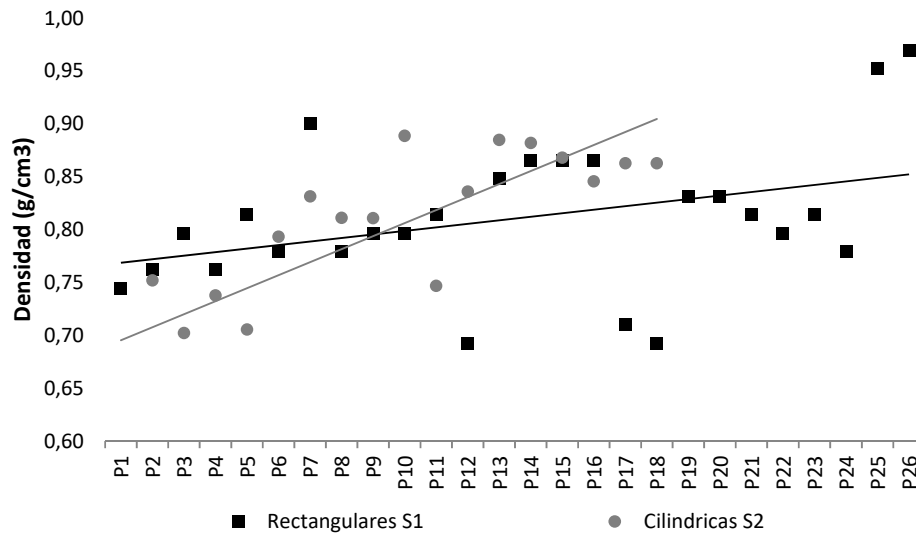


Fig. 2. Densidad de probetas cilíndricas y rectangulares.

Con análisis por microscopía SEM, pudo determinarse que la constitución de las probetas era de forma homogénea de ambos materiales compositivos y que la organización de los mismos mostraba una direccionalidad. En el sentido de extrusión del material las fibras de PET, no totalmente fundido sino reblandecido, se organizan de manera lineal a modo de fibras. De esta manera con una forma homogénea posee dos fases diferentes que lo componen (ver Fig. 3). Este efecto si bien es una falla no pudo ser eliminado disminuyendo la temperatura ya que por sobre el rango utilizado el PET comienza a evidenciar su degradación.

Si bien para el moldeo de piezas de plástico, un comportamiento lineal podría ser perjudicial, en el caso de la construcción un material de estas características y propiedades elásticas, pero buena resistencia mecánica, podría utilizarse correctamente.

Las propiedades de plásticos que en la industria de producción de envases o empaques requieren altos valores, muchas veces pueden ser reutilizados en la industria de la construcción con buen desempeño, ya que reemplazan materiales de distinto origen y características físicas.

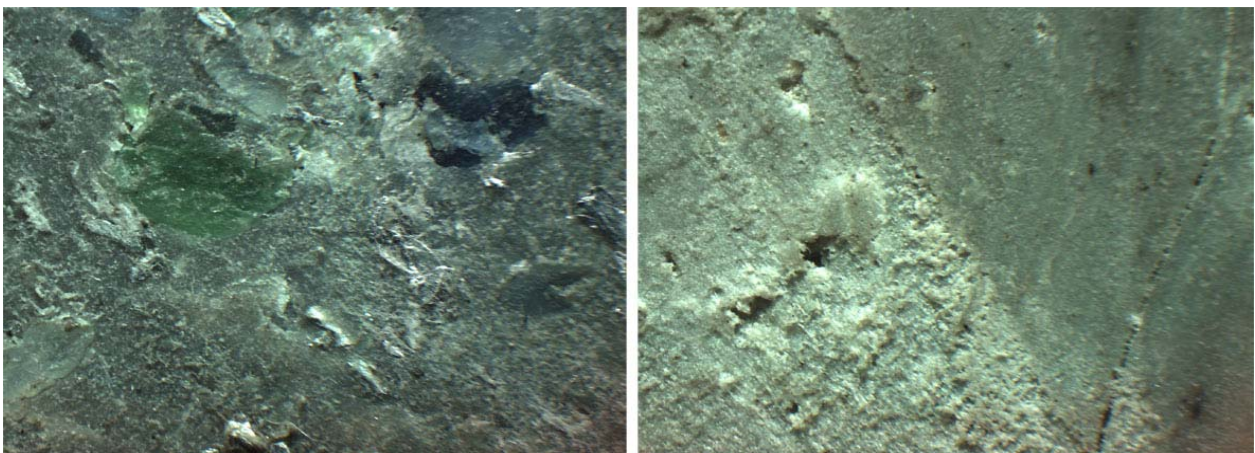


Fig. 3. Probetas heterogéneas (izquierda) y homogéneas (derecha).

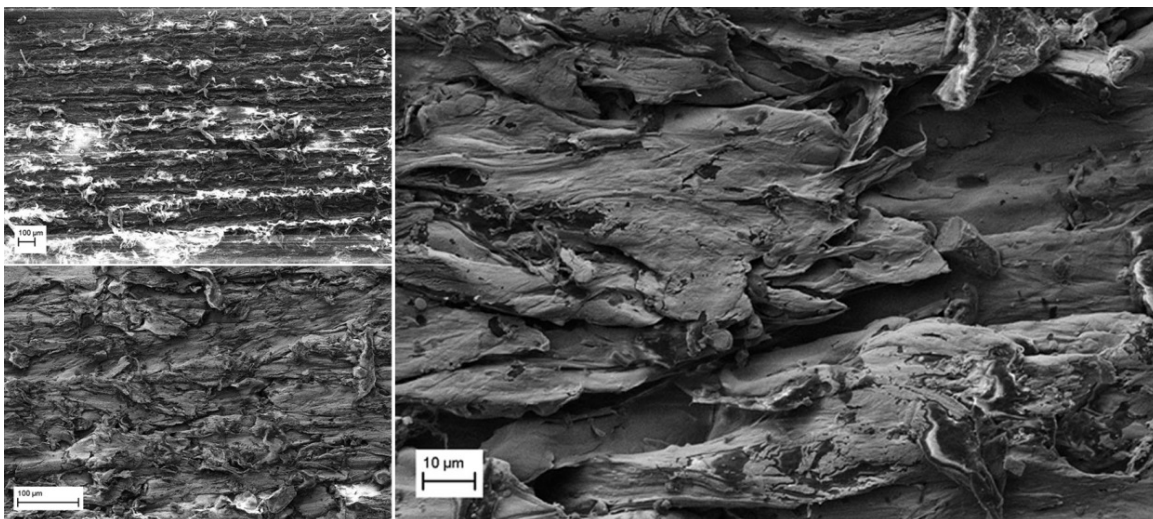


Fig. 4. Imágenes de microscopia SEM de la superficie interna de probetas ensayadas.

De todas formas los primeros valores de resistencia mecánica muestran un buen comportamiento. La formulación F2 mostró valores por encima de los 30 MPa por lo que el material podría ser utilizado en la producción de piezas incluso portantes. Si bien estos resultados son alentadores de forma preliminar, los valores de variación porcentual de cada serie, muestran una gran dispersión en el sistema de moldeo que varía la densidad considerablemente. El valor de densidad de las probetas, podría producir este efecto negativo en su resistencia.

Tabla 2. Valores de resistencia a compresión paralelo al sentido de extrusión.

Fórmula	PE (g)	PET (g)	Tensión (Mpa)	CV%	Temperatura (°C)
F1	300	700	36.50	14	245
F2	350	650	31.10	4	245
F3	400	600	26.80	13	245
F4	450	550	28.00	11	245
F5	500	500	30.70	5	245
F6	550	450	26.10	2	245
F7	600	400	26.80	7	245
F8	650	350	20.10	7	245
F9	700	300	16.50	9	245

Asimismo, se describieron otras características del material, como la plasticidad o fragilidad según su composición con mayor concentración de PE o PET respectivamente. Estas variaciones podrían estar relacionadas a las variables de moldeo descritas en la bibliografía citada. También como debido a su anisotropía dio resultados de resistencia superiores en mas de un 100%, ensayados en el sentido paralelo a la extrusión respecto al sentido perpendicular, lo que se evidencia en el siguiente gráfico con el análisis comparativo de dos series realizadas.

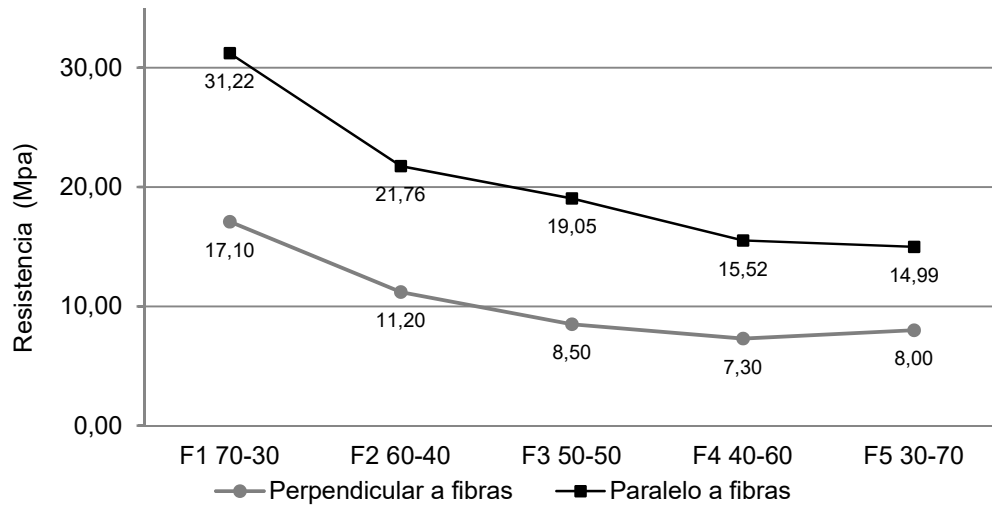


Fig. 5. Valores de resistencia a compresión simple.

De esta forma después de los ensayos realizados, se seleccionó la formulación que mostró mejores resultados de resistencia y comportamiento elástico y plástico (Figura 6) dentro de un rango de posibilidades donde se evaluaron las variables de Resistencia, Comportamiento elástico, Comportamiento plástico y Condiciones de moldeo. El diseño de los perfiles fue tomado de los fabricados con chapa metálica, para un modelo de ventanas ampliamente utilizado en la vivienda social (Economica, 2006). El mismo y sus moldes se muestran en la Figura 7.



Fig. 6. Probetas ensayadas de formulación F1 a F5.

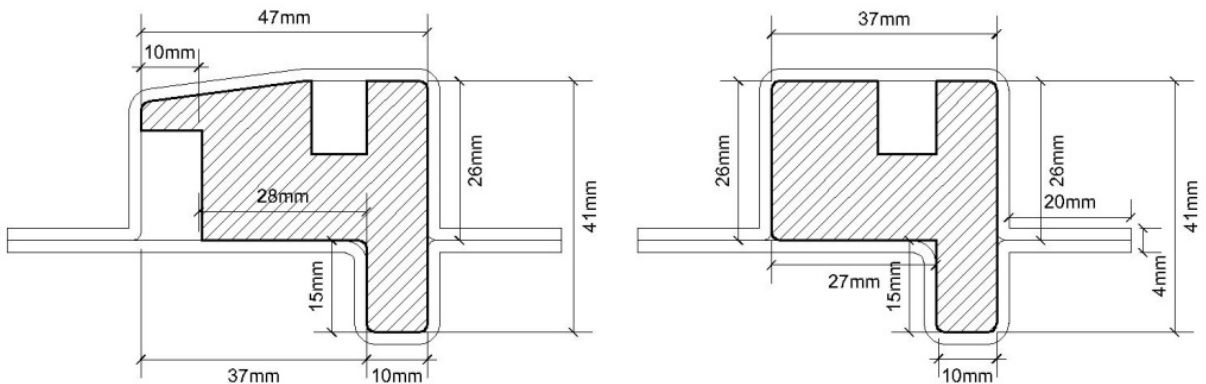


Fig. 7. Sección de moldes y perfiles fabricados.



La técnica de extrusión con enfriamiento posterior en moldes, fue optimizada durante los procesos de prueba. Así pudieron determinarse las condiciones óptimas de trabajo que corresponden a Temperatura de moldes (T_{mod}), Temperatura máxima de extrusión (T_{Max}) y Rango de calentamiento (R), $T_m = 60^{\circ}C$ $T_{max} = 245^{\circ}C$ $R = 5^{\circ}C$. Pudieron obtenerse piezas continuas, de terminación lisa aunque no se redujeron significativamente las variaciones en la densidad de las mismas. El proceso y los moldes metálicos se muestran en las Figuras 8 y 9.

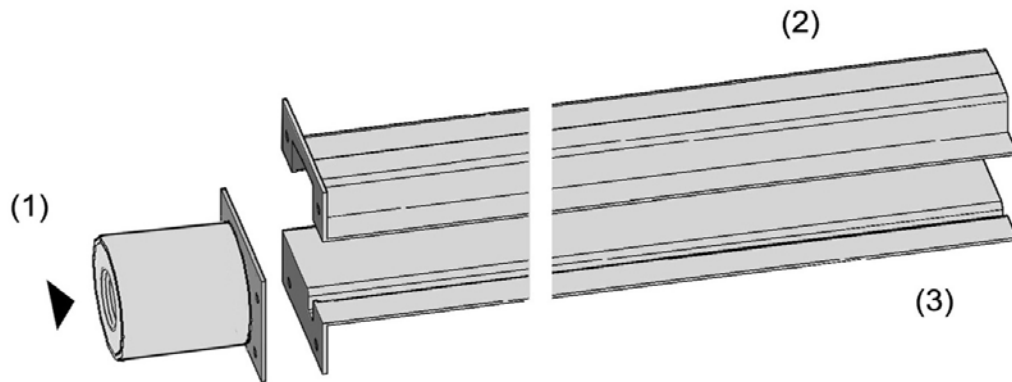


Fig. 8. Molde de enfriamiento; boquilla de extrusión (1) plegado superior (2) y plegado inferior (3).

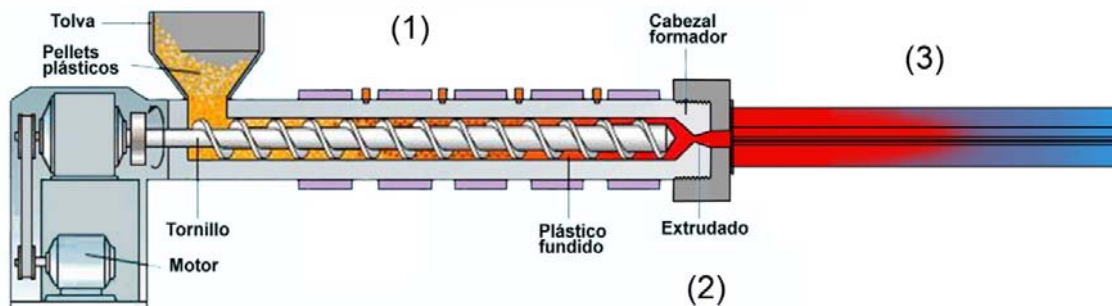


Fig. 9. Extrusión modificada; Calentamiento y mezcla (1) Boquilla extrusión (2) Molde de enfriamiento (3).¹

Siguientemente con la fabricación de prototipos, se pueden tomar datos sobre el comportamiento del material frente a acciones mecánicas secundarias y la aplicabilidad de ciertas técnicas en el nuevo material producido. En ese orden verificar si podrían ser aplicables a este nuevo material las técnicas tradicionales de carpintería de madera de corte en inglete, acanalado, clavado y atornillado (ver Figura 10). Las mismas fueron realizadas de forma correcta, sin mayores dificultades. Solo en el caso del atornillado y clavado de las piezas se observaron roturas de las mismas debido a cierta fragilidad frente a esta acción. Debido a lo cual se decidió realizar las uniones de marcos por termofusión.

Esta técnica permite además de una unión físicamente resistente, obtener una mayor impermeabilidad del conjunto transformándolo virtualmente en una sola pieza, por lo cual es utilizado en la industria plástica. De esta manera los marcos pudieron conformarse correctamente.

¹ Modelo modificado sobre extrusora tradicional extraído el 29 de Mayo de 2018 de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>.

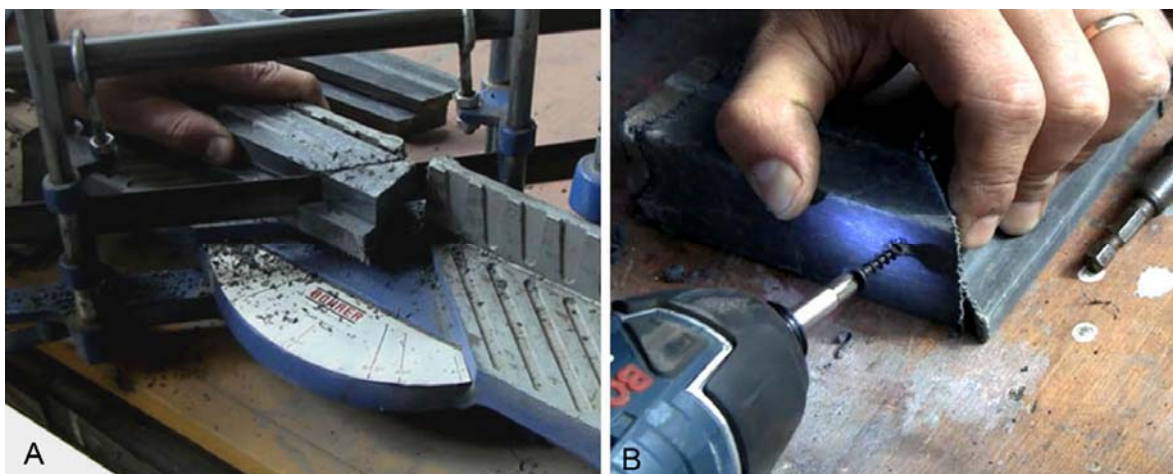


Fig. 10. Corte a inglete de perfiles (A) y pruebas de atornillado (B).

Las propiedades del material compuesto evaluadas mediante ensayos normalizados, comparativamente con las de la madera blanda natural, son comparadas en la Tabla 3. Pudieron evidenciarse las similitudes, sobre todo en su comportamiento. Por el contrario diferencias en la resistencia a compresión, donde el material compuesto plástico resulto superior y en la densidad, de igual forma.

Además de la resistencia mecánica o propiedades físicas, decidió evaluarse la conductividad térmica del material y de las piezas, variable esencial en la producción de piezas de carpintería en orden al consumo energético de acondicionamiento de los espacios interiores (de Gastines & Pattini, 2016). En esta primera evaluación el material macizo, producido en placas para el ensayo según norma IRAM 11.559 arrojó un valor $\lambda=0.61 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$, esperable para los plásticos utilizados. Sin embargo las piezas de menor densidad producidas por extrusión, podrían mostrar un valor mucho, sumado esto a que contienen espacios de aire. Se evaluarán a futuro estas piezas con la norma pertinente.

Tabla 3. Propiedades de perfilera plástica y madera comparadas (Suirezs, 2005).

Variabes	Compuesto plástico	Madera natural
Formulación	65/35 PET-PE	Madera blanda
Condiciones de extrusión	245 °C – 500 gr/min	-
Densidad	0.85 g/cm ³	0.43 - 0.70 g/cm ³
Material	Compuesto fibrado	Sin tratamiento
Resistencia a compresión	16 - 36 MPa	16 - 30 MPa
Resistencia a tracción	13.9 MPa	8 - 18 MPa
Resistencia a flexión	20.2 MPa	14 - 30 MPa
λ conductividad térmica	0.61 W/m [°] k	0.15 W/m [°] k



Fig 11. Prototipo de marco de ventana de perfilera de plástico reciclado.

3. CONCLUSIONES

Los perfiles producidos con este nuevo material, son constituidos 100% por plásticos de residuos, sin el agregado de resinas u otros polímeros vírgenes. De esta manera para el reciclado no son utilizados directa ni indirectamente materiales que requieren de energía y otros recursos para su producción.

A partir de los ensayos realizados se demuestra que el material tiene un comportamiento suficiente para su utilización en la construcción, incluso comparable a materiales portantes y mantiene sus propiedades originales de bajo peso, flexibilidad, impermeabilidad e imputrescibilidad.

Por esta razón se sostiene que la degradación de los mismos en el proceso no es significativa. Con esta formulación puede generarse un nuevo material que posee suficientes propiedades mecánicas y físicas, para aplicarse en la industria de la construcción en los cuales mejor se aprovechan sus características técnicas.

Comparativamente a otros materiales su comportamiento y resistencia mecánica se asemejan al de la madera, si bien a compresión es superior, por lo que se concluye que su aplicación en este campo es viable. Asimismo el comportamiento si bien es anisotrópico, existe la diferencia de una mayor relación entre densidad/resistencia.

Con los primeros prototipos elaborados en esta etapa se pudo demostrar que las piezas producidas con el material, pueden ser utilizadas para fabricar aberturas con las técnicas tradicionales de carpintería, sin mayor diferencia respecto a la madera, y en el caso de la unión entre piezas también aplicar nuevas provenientes de la industria plástica.

**BIBLIOGRAFIA**

Chandra, S., Aavik, J., & Berntsson, L. (1982). *Influence of polymer microparticles on freeze-thaw resistance of structural lightweight aggregate concrete*. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 4(2), 111–115. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(82\)90015-X](https://doi.org/10.1016/0262-5075(82)90015-X)

Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S., & Cho, S. K. (2005). *Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete*. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 776–781. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.014>

de Gastines, M., & Pattini, A. (2016). *Impacto de los Inputs de Marcos de Ventanas en EnergyPlus en la Estimación de Eficiencia Energética de Edificios*. I Encuentro Nacional Sobre Ciudad, Arquitectura Y Construcción Sustentable, 15(2), 267–278.

Economica, C. E. de la V. (2006). *Ventana-Hormigon.pdf*. Cordoba: CEVE. Retrieved from <http://www.ceve.org.ar/documentos/Ventana-Hormigon.pdf>

Gaggino R. (2009). *Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción*. *Revista INVI*, 23 (63), 1–12.

Itim, B., & Philip, M. (2015). *Effect of multiple extrusions and influence of PP contamination on the thermal characteristics of bottle grade recycled PET*. *Polymer Degradation and Stability*, 117, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.04.004>

Nait-Ali, L. K., Colin, X., & Bergeret, A. (2011). *Kinetic analysis and modelling of PET macromolecular changes during its mechanical recycling by extrusion*. *Polymer Degradation and Stability*, 96(2), 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.11.004>

Navarro, R., Ferrándiz, S., López, J., & Seguí, V. J. (2008). *The influence of polyethylene in the mechanical recycling of polyethylene terephthalate*. *Journal of Materials Processing Technology*, 195(1–3), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.126>

Suirezs, T. M. (2005). *Comportamiento de la madera de Pinus taeda impregnado con arseniato de cobre cromatado (CCA)*. *Floresta*, 35(1992), 33–40.

Wilson, D. C. (2015). *Global Waste Management Outlook*. (D. C. Wilson, Ed.). <https://doi.org/10.1177/0734242X15616055>

Yamada, K., Tamada, S., Kunimune, N., & Hamada, H. (2012). *Mechanical and Thermal Properties of Recycled Pet*.