

Caracterización Físico-Mecánica de Tablas Elaboradas con Residuos Plásticos y Vítreos

Arroyo, Emmanuel A. ^a; Duarte, Javier ^a; Neudeck, Néstor ^a; Ruloff, Virginia S. ^a;
Osorio, Braian M. ^a; Paranderi, Arnaldo Andrés ^a.

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.
E-mails: ing.arroyoemmanuel@gmail.com, javier.duarte@fio.unam.edu.ar, neudeck@fio.unam.edu.ar,
ruloffvirginiasoledad@gmail.com, osorio234786@gmail.com, arnaldoparanderi@gmail.com

Resumen

Como continuación de una línea de investigación iniciada en Oberá, Misiones, se avanza en el estudio de mezclas elaboradas a partir de residuos plásticos y vidrios que actualmente no tienen valorización en el sistema de gestión de residuos del municipio. En el marco de un enfoque de economía circular, se analiza la viabilidad de emplear dichas mezclas como materiales constructivos alternativos. En esta etapa se realizaron ensayos físicos y mecánicos sobre ocho prototipos con distintas dosificaciones de plástico reciclado y combinaciones con vidrio, evaluando absorción de agua, temperatura, acción del viento, compresión y flexión. El objetivo principal es generar un muestreo de datos que permita, en futuras etapas, establecer valores característicos de resistencia y desarrollar análisis probabilísticos. Los resultados preliminares muestran comportamientos mecánicos diferenciados según la composición, aportando evidencia del potencial de estos materiales para aplicaciones constructivas sostenibles.

Palabras Clave – Economía circular, Reutilización de materiales, Industria de la construcción, Reciclaje.

1 Introducción

La acumulación de residuos no renovables y la escasez de oportunidades laborales siguen siendo desafíos relevantes para las sociedades actuales. Aunque parezcan fenómenos desconectados, se entrelazan profundamente en el contexto de una transición hacia modelos de producción y consumo más sostenibles. El auge del consumo masivo y la obsolescencia programada, como plantea Zhoupeng Yang [1], han impulsado una generación sin precedentes de desechos sólidos. Entre ellos, plásticos y vidrios destacan por su persistencia ambiental y limitada reutilización, lo que favorece su acumulación en vertederos y ecosistemas, contribuyendo a la degradación ambiental y al cambio climático. La falta de gestión eficiente y la carencia de políticas públicas sólidas en torno a la economía circular agravan esta situación, tal como advierten C. de Miguel, K. Martínez, M. Pereira y M. Kohout [2], quienes destacan la necesidad urgente de adoptar nuevos paradigmas productivos.

Paralelamente, la automatización, la globalización y las crisis económicas han deteriorado la estabilidad del empleo, especialmente en sectores tradicionales como la manufactura, la agricultura y la construcción. Esta realidad genera un escenario de desocupación y precarización laboral que afecta, sobre todo, a las poblaciones de menores ingresos. Frente a este panorama, la economía circular surge como una estrategia integral, capaz de abordar simultáneamente los problemas ambientales y sociales. Este enfoque propone rediseñar los procesos productivos para minimizar el desperdicio, extender la vida útil de los materiales y regenerar los ecosistemas a través del aprovechamiento de recursos secundarios.

En este marco, la industria de la construcción se posiciona como un sector estratégico para la adopción de prácticas circulares, debido a su elevado consumo de recursos y su fuerte impacto ambiental. La incorporación de materiales reciclados, particularmente aquellos derivados de plásticos y vidrios, ofrece una alternativa concreta para reducir la huella ecológica del sector y estimular la innovación tecnológica. Durante la primera etapa de este proyecto, desarrollada en 2023, se evaluaron mezclas de plásticos y vidrios reciclados (PVR) mediante la elaboración de probetas moldeadas y ensayos mecánicos básicos de flexión y compresión. Los resultados iniciales evidenciaron un comportamiento estructural prometedor, abriendo paso a una investigación más profunda.

En la presente etapa de desarrollo de la investigación, se amplía la línea de trabajo con el objetivo de optimizar las formulaciones y los procesos de elaboración, incorporando nuevos ensayos para lograr una caracterización más completa del comportamiento físico y mecánico de los materiales desarrollados.

El objetivo general es evaluar integralmente el desempeño de materiales compuestos, elaborados con residuos plásticos y vítreos, bajo distintas condiciones de procesamiento y dosificación, con el fin de determinar su potencial como insumo para una construcción sustentable. Se apunta, así, a contribuir a la mitigación del impacto ambiental de los residuos sólidos urbanos y a la generación de oportunidades de empleo e inclusión productiva local, en línea con los principios de la economía circular.

2 Metodología

La hoja de ruta de esta etapa se centró en la elaboración de tablas con distintas dosificaciones de plástico reciclado, tanto en forma pura como en combinación con vidrio molido. Los materiales fueron previamente triturados, tamizados y luego fundidos en horno eléctrico utilizando moldes metálicos. Las muestras resultantes fueron sometidas a ensayos de compresión, flexión, absorción de agua, comportamiento térmico y resistencia a cargas laterales (simulando viento), con el objetivo de evaluar su desempeño físico-mecánico. Esta metodología permitió comparar el comportamiento entre formulaciones plásticas y mixtas, orientando la optimización de sus propiedades para posibles usos en obras civiles.

3 Desarrollo

Como continuación de la investigación titulada *“Economía Circular: Caracterización mecánica de mezclas PVR para usos en construcción”*, en esta nueva etapa se utilizaron los mismos materiales reciclados, obtenidos a través del Centro de Reciclaje “La Ponchada” de Oberá, Misiones. Estos incluyen plásticos rígidos provenientes de carcasas de computadoras, impresoras y televisores, así como vidrio de ventanas y parabrisas, seleccionados por no reincorporarse al circuito productivo tradicional. Los plásticos llegan en piezas completas y son triturados, mientras que los vidrios, ya previamente molidos, se refinan manualmente en el laboratorio para lograr

granulometrías menores. Luego, se determina el peso unitario de los materiales (IRAM 1548 [3]) y el tamaño máximo nominal mediante tamizado (IRAM 1505 [4]).

A diferencia de la etapa previa, en esta instancia no se elaboraron probetas, sino prototipos en forma de tablas. En total se realizaron 8 prototipos, 5 de solo plástico y 3 de la mezcla de plástico con vidrio. Cada uno presenta dimensiones de 30 cm de largo, 10 cm de ancho y 3 cm de alto.

Se experimentó con diferentes dosificaciones para evaluar el comportamiento de ambos materiales. Inicialmente se utilizó un horno convencional, pero posteriormente se optó por reemplazarlo por otro que permitiera regular el tiempo y los saltos de temperatura, lo que mejoró notablemente la calidad de los prototipos.

Se llevaron a cabo ensayos de absorción de agua, temperatura, compresión y flexión. Los ensayos de flexión y compresión se realizaron en la prensa del laboratorio de Ingeniería Civil (IRAM 13338 [5]), registrando tanto las cargas aplicadas como las deformaciones generadas.

Para el ensayo de flexión, se ensayaron todos los prototipos aplicando dos configuraciones de carga: una carga centrada en el punto medio de la tabla, distribuida a lo ancho, y otra carga lateral aplicada hacia uno de los extremos, con el objetivo de evaluar el comportamiento del material frente a distintas sollicitaciones de flexión.

Para el ensayo de temperatura, se utilizó el primer horno, regulado a 50 °C, y los prototipos fueron sometidos a ciclos de exposición térmica de entre 1 y 2 horas, simulando las condiciones de calor extremo durante el verano en Misiones.

En el ensayo de absorción (IRAM 13318 [6] e IRAM 1861 [7]), los prototipos se sumergieron en agua desmineralizada durante 24 horas, se secaron con un paño y se registraron sus pesos y dimensiones antes y después.

Para el ensayo de compresión, se extrajeron de cada tabla un mínimo de dos muestras aleatorias en forma de cubos, de aproximadamente 3 cm de lado cada una.

Esta nueva fase permite seguir evaluando el comportamiento mecánico de los materiales reciclados, explorando su potencial como materiales constructivos sostenibles en el marco de un modelo de economía circular.



Fig. 1. Tablas con residuos de plásticos y vidrios.



Fig. 2. Ensayo a flexión de los prototipos.

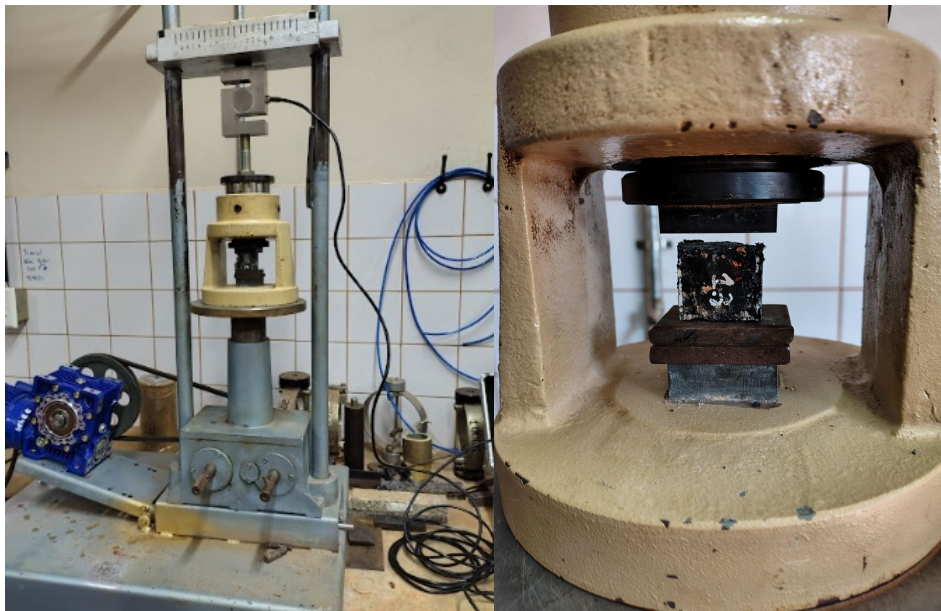


Fig. 3. Ensayo a compresión de los prototipos.

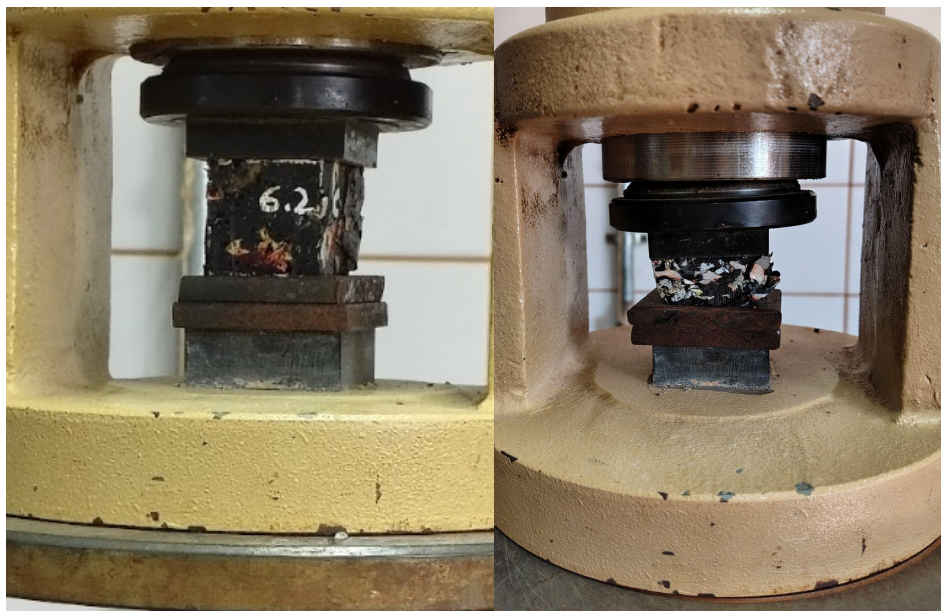


Fig. 4. Ensayo a compresión de los prototipos.



Fig. 5. Preparación de los prototipos para el ensayo de absorción.

4 Análisis de resultados

En el ensayo de absorción de agua se analizaron ocho tablas (prototipos). Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, con una absorción promedio del 2,10%, siendo las formulaciones con vidrio y plástico las que registraron los valores más altos, aunque dentro de un rango considerado aceptable. Esto sugiere un comportamiento favorable frente a condiciones húmedas.

Respecto al ensayo de temperatura, también se evaluaron ocho prototipos expuestos a 50°C durante diferentes intervalos de tiempo. Las mediciones de deformación arrojaron variaciones apenas perceptibles en el segundo decimal, indicando una estabilidad dimensional notable. Además, aquellas pequeñas deformaciones registradas tendieron a restituirse con el tiempo, lo que evidencia una buena recuperación post-exposición térmica.

En cuanto al ensayo de carga lateral, todas las muestras presentaron un comportamiento similar, soportando en promedio cargas del orden de 390 N. Estos resultados permiten inferir una buena respuesta frente a esfuerzos laterales.

El ensayo de flexión permitió diferenciar el desempeño según el tipo de mezcla. Las tablas de plástico alcanzaron un promedio de 120,7 kN·m, mientras que aquellas con combinación plástico y vidrio alcanzaron 76,8 kN·m. En ambos casos, las deformaciones durante el ensayo fueron muy reducidas y se observaron mecanismos de restitución inmediata y progresiva tras el retiro de la carga.

Por último, en los ensayos de compresión sobre cubos extraídos aleatoriamente de las tabletas, se evidenciaron diferencias significativas. Las muestras de los prototipos elaborados solamente con plástico presentaron una resistencia media axial de 7,53 MPa, mientras que las combinadas con

vidrio alcanzaron, en promedio, 3,03 MPa. Se destacó además un buen comportamiento post-ensayo, con deformaciones residuales mínimas o incluso nulas en la mayoría de los casos.

Cabe destacar que no existe normativa específica para los tipos de plásticos ensayados ni para la mezcla de plástico con vidrio, por lo que no se dispone de valores mínimos de referencia que deban cumplir estos materiales en cada ensayo. En consecuencia, se adoptaron normativas existentes para los distintos ensayos realizados, adaptando los procedimientos a las características y dimensiones de los materiales estudiados, con el objetivo de obtener parámetros comparables y evaluar su comportamiento mecánico y físico.

5 Conclusiones

La evaluación de mezclas elaboradas con residuos plásticos y vítreos permite consolidar un enfoque técnico y ambientalmente viable para la reutilización de materiales descartados en contextos urbanos. Los resultados obtenidos refuerzan la pertinencia de continuar esta línea de investigación, no solo por las propiedades constructivas observadas, sino por el aporte que representa en términos de sostenibilidad, reducción del impacto ambiental y generación de nuevas oportunidades productivas.

La integración de ensayos físicos y mecánicos permitió ampliar la comprensión sobre el comportamiento de estos compuestos reciclados, sentando bases sólidas para su futura aplicación en soluciones constructivas de bajo impacto. En este sentido, la economía circular se presenta no sólo como un marco teórico, sino como una estrategia concreta de intervención que vincula ciencia, técnica y territorio.

Asimismo, este trabajo pone en evidencia la necesidad de avanzar en la normalización de los procedimientos de ensayo y en la generación de criterios técnicos específicos para materiales reciclados de base plástica y vítrea. La ausencia de normativas particulares para este tipo de compuestos plantea el desafío de desarrollar estándares que permitan evaluar de manera sistemática su desempeño, facilitando su incorporación segura y confiable en aplicaciones constructivas.

De esta manera, además de validar el potencial técnico de estos materiales, se busca contribuir al desarrollo de futuras normativas y protocolos de ensayo que acompañen la creciente utilización de materiales reciclados en la construcción. Este trabajo reafirma el potencial de la valorización de residuos como herramienta para el desarrollo local, promoviendo una visión de la ingeniería comprometida con los desafíos sociales y ambientales contemporáneos.

6 Referencias

- [1] Yang, Z., “La obsolescencia programada”, (A2, pág. 5), Facultad de economía y empresa, universidad del país Vasco, Bilbao, 2016.
- [2] C. de Miguel, K. Martínez, M. Pereira y M. Kohout, “Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/120), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.
- [3] IRAM 1548:2003, Agregados: Determinación de la densidad a granel y de los espacios vacíos.

- [4] IRAM 1505:2003, Agregados: Análisis granulométrico.
- [5] IRAM 13338:1970, Plásticos: Método de ensayo de flexión.
- [6] IRAM 13318:1976, Plásticos: Método de determinación de las materias solubles en agua y absorción de agua.
- [7] IRAM 1861:2002, Materiales aislantes térmicos: Determinación de absorción de agua en plásticos celulares para uso en aislaciones térmicas.