

Ensayos mecánicos en probetas realizadas con fracción plástica de los residuos electrónicos y diferentes polímeros

Mechanical tests on specimens made with plastic fraction of electronic waste and different polymers.

Presentación: 8-9/10/2024

Doctoranda:

Mariela RESSLER

Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) - Argentina
marielaressler@gmail.com

Director:

Jerónimo KREIKER

Codirectora:

Soledad RENZINI

Resumen

El crecimiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) ha generado la necesidad de abordar la gestión de este residuo, y en particular de la fracción plástica con el fin de minimizar el impacto negativo, tanto para el ambiente como para la salud de las personas. El objetivo del presente estudio es desarrollar un material compuesto reciclando la fracción plástica de RAEE como material de carga en una matriz polimérica, mediante técnicas de extrusión. Además, caracterizar el material estudiando las propiedades mecánicas del compuesto. En este trabajo, se realizaron ensayos mecánicos a las probetas resultantes de la mezcla de la fracción plástica con otros polímeros como el polietileno de baja densidad, polietileno de alta densidad y polietileno resistente a la temperatura, con el fin de determinar la resistencia y comenzar a explorar posibles aplicaciones.

Palabras clave: RAEE, reciclado, ensayo mecánico.

Abstract

The growth of waste electrical and electronic equipment (WEEE) has generated the need to address the management of this waste, and in particular the plastic fraction in order to minimize the negative impact, both for the environment and for people's health. The objective of this study is to develop a composite material by recycling the plastic fraction of WEEE as a filler material in a polymeric matrix, using extrusion techniques. In addition, to characterize the material by studying the mechanical properties of the composite. In this work, mechanical tests were carried out on the specimens resulting from the mixture of the plastic fraction with other polymers such as low-density polyethylene, high-density polyethylene and temperature-resistant polyethylene, in order to determine the strength and begin to explore possible applications.

Keywords: WEEE, recycling, mechanical testing.

Introducción

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) han experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas (MAyDS, 2020). Según el informe del Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos, en el año 2022 se alcanzó un récord de 62 billones de kg de RAEE, un 82 % más que en el 2010, y se espera que aumente otro 32 % en el 2030. Estos residuos, contenían 31 billones de kg de metales, 17 billones de kg de plástico y 14 billones de kg de otros materiales (minerales, vidrios, materiales compuestos, etc.). Sin embargo, sólo el 22,3 % de la masa anual de desechos electrónicos es documentada como recogida y reciclada adecuadamente en 2022. Lamentablemente, la mayoría de los desechos electrónicos se gestionan fuera de los esquemas formales de recolección y reciclaje, lo que tiene consecuencias negativas para el ambiente y la salud humana. En particular, la gestión inadecuada genera que cada año se liberen al ambiente 58.000 kg de mercurio y 45 millones de kg de plásticos que contienen retardantes de llama bromados. Además, el informe del Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos proyecta una disminución en la tasa de recogida y reciclado al 20 % para el año 2030 debido a la creciente brecha entre los esfuerzos de reciclado y el crecimiento de la generación de RAEE en todo el mundo (Baldé et al., 2024). En el 2019 en América del sur se generó 9,1 kg de RAEE por persona y, sólo se gestionó adecuadamente 0,7 %. Aunque no hay datos específicos para Argentina, se calcula que se generan 465.000 toneladas de RAEE por año, de esto sólo el 3 % entra en el circuito formal de valorización (MAyDS, 2020).

Los RAEE están compuestos por varias corrientes de materiales y componentes, entre los que se encuentran cables, plaquetas, metales, vidrios y plásticos. La fracción plástica de los RAEE (FPR) constituye, en promedio, entre 20-34 % del peso total del componente eléctrico (Dimitrakakis et al., 2009). Esta fracción está compuesta por más de 300 tipos diferentes de polímeros donde el 90 % corresponde a cuatro polímeros principales, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), poliestireno de alto impacto (HIPS), polipropileno (PP) y policarbonatos (PC). Además, contiene sustancias peligrosas como retardantes de llama bromados (BFR) y metales pesados, compuestos tóxicos para el ambiente debido a que se bioacumulan y pueden ser riesgoso para la salud humana (Maris et al., 2015).

Por lo anteriormente expuesto, es fundamental abordar adecuadamente la gestión de los RAEE para minimizar el impacto negativo, en este sentido se han realizados diversos estudios para la reutilización de estos materiales. En el caso particular de la FPR se investigó la influencia de fracciones menores de ABS, PS y PP como impurezas en la microestructura y las propiedades mecánicas del HIPS (Perrin et al., 2016). También se evaluaron estrategias de reciclaje para ABS, procedente del flujo de RAEE plástico, evitando la clasificación por tipo. En el cual, se estudió la compatibilización de las mezclas ABS/HIPS, así como la adición de Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) como compatibilizante a la mezcla ABS/HIPS para mejorar las propiedades mecánicas (Vazquez & Barbosa, 2018). Por último, en nuestro grupo de investigación, se llevó a cabo el desarrollo de agregado de plástico reciclado, elaborado mediante técnica de core-shell, donde la FPR actúa como núcleo y se realizó un proceso de encapsado con una mezcla de cemento y aditivos estabilizantes (Peisino et al., 2019).

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un material compuesto reciclando la fracción plástica de RAEE como material de carga en una matriz polimérica, mediante técnicas de extrusión. Además, caracterizar y estudiar las propiedades mecánicas del compuesto, evaluando la resistencia a la flexión y tracción.

Desarrollo

Preparación de las muestras

En este trabajo exploratorio, no se realizó separación previa ni se añadió agente compatibilizantes a la FPR, por lo que contiene los polímeros y aditivos mencionados anteriormente, sin embargo, se incorporaron otros polímeros reciclados con una temperatura de fusión inferior a 200 °C. Además, se buscó una temperatura de trabajo adecuada para que la mezcla fluya sin que se produzca la descomposición de los polímeros y aditivos presentes.

Los polímeros reciclados utilizados fueron el Polietileno de Baja Densidad (PEBD), el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polietileno Resistente a la Temperatura (PERT). Posteriormente, se trituró con malla de 3 mm para facilitar el proceso de extrusión y se mezcló el material en diferentes proporciones en peso, tal como se indica en la Tabla 1:

FPR + PEBD	FPR + PEHD	FPR + PERT
100 % FPR	-	-
75 % FPR + 25 % PEBD	75% FPR + 25 % PEHD	75 % FPR + 25 % PERT
50 % FPR + 50 % PEBD	50% FPR + 50 % PEHD	50 % FPR + 50 % PERT
25 % FPR + 75 % PEBD	25% FPR + 75 % PEHD	25 % FPR + 75 % PERT
100 % PEBD	100 % PEHD	100 % PERT

Tabla 1: Mezclas de FPR con diferentes tipos de Polietilenos en diferentes proporciones.

A continuación, se procedió a la extrusión a una temperatura de 200 °C y se colocó en un molde de dimensiones 25 x 11,5 x 2 cm, donde se aplicó una presión de 200 kg/cm² durante 3 horas. Finalmente, las probetas se mecanizaron siguiendo las especificaciones de las Normas ASTM D790-03 y ASTM D638-14.

Ensayo de Flexión

Las pruebas de flexión en 3 puntos se llevaron a cabo siguiendo las condiciones establecidas en la Norma ASTM D 790-03, utilizando una máquina de ensayo Shimadzu AGS-X 50kN. La velocidad del movimiento del travesaño fue de R= 5 mm/min. Para cada formulación se ensayaron 4 probetas de sección plana con dimensiones de 10 x 20 x 240 mm.

Ensayo de Tracción

La prueba de tracción uniaxial se llevó a cabo siguiendo las condiciones establecidas por la Norma ASTM D638-14, utilizando una máquina de ensayo Shimadzu automática. La velocidad de ensayo fue de 5 mm/min excepto para las formulaciones de PEBD y PERT al 100 %, en las cuales, se realizó a una velocidad de 10 mm/min debido a que con la velocidad inicial se sobrepasa el tiempo de ensayo estipulado por la Norma. Para cada formulación se realizaron 4 probetas con dimensiones normalizadas de 12 x 20 x 120 mm y las mancuernas con una longitud de 57 mm y un espesor de 8 mm.

Resultados

Para los ensayos de flexión se obtuvieron curvas promedios que se presentan, en las figuras 1, 2 y 3, las cuales muestran el % de deformación vs la tensión para las diferentes formulaciones: En la figura 1, se presenta las probetas de la FPR y PEBD; en la figura 2, la FPR y PEAD y; en la figura 3, la FPR y PERT.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran las curvas promedios para el ensayo de tracción; la figura 4, presenta el % de deformación vs tensión de las probetas de la FPR y PEBD; la figura 5, corresponde a las probetas de la FPR y PEAD; y por último la figura 6, muestra los resultados obtenidos para la FPR y PERT.

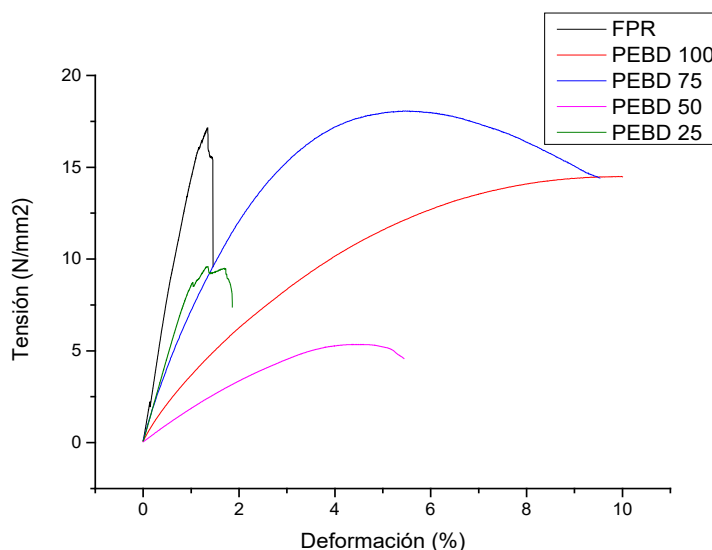


Figura 1: Curvas promedios % de Deformación vs Tensión para la FPR y PEBD a diferentes proporciones.

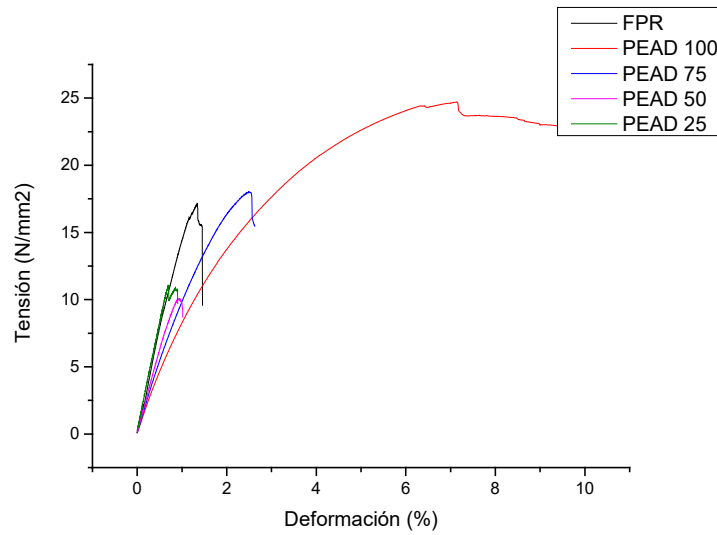


Figura 2: Curvas promedios % de Deformación vs Tensión para la FPR y PEAD a diferentes proporciones.

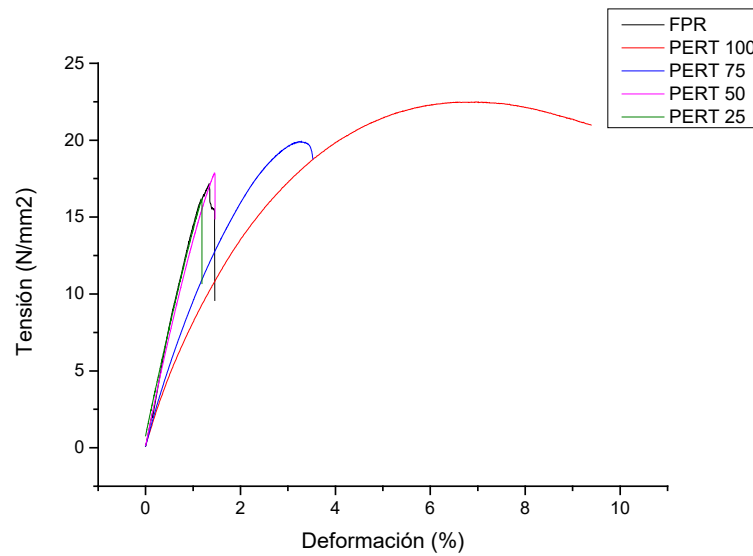


Figura 3: Curvas promedios % de Deformación vs Tensión para la FPR y PERT a diferentes proporciones.

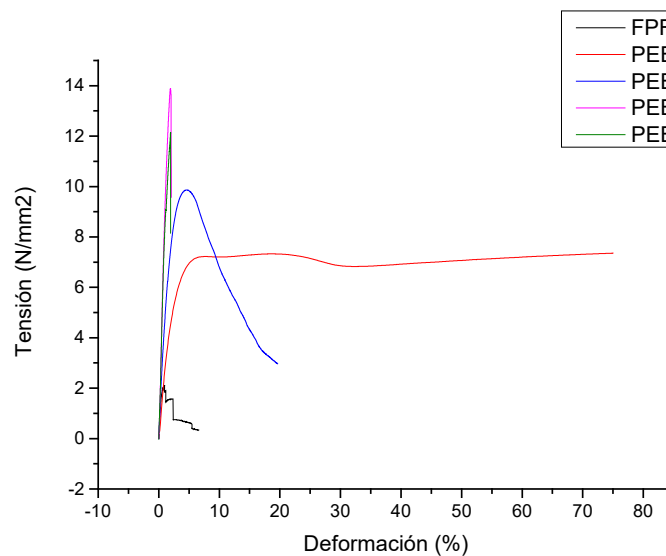


Figura 4: Curvas promedios % de Deformación vs Tensión para la FPR y PEBD a diferentes proporciones.

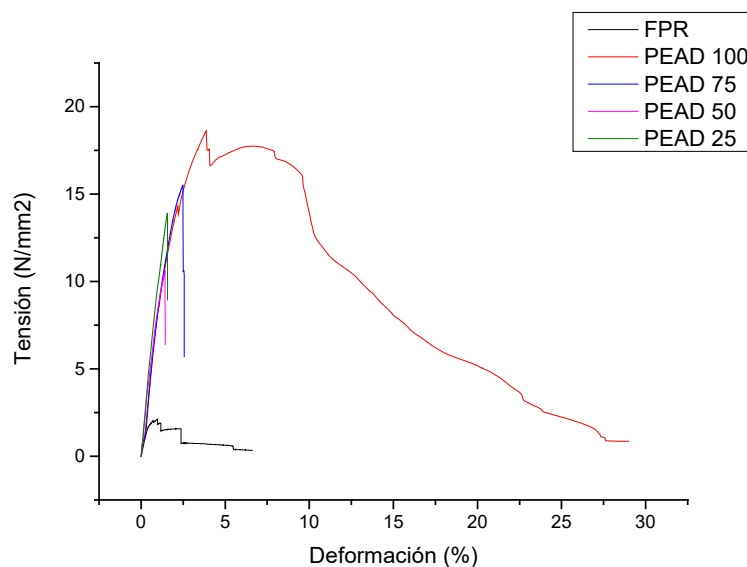


Figura 5: Curvas promedios % de Deformación vs Tensión para la FPR y PEAD a diferentes proporciones.

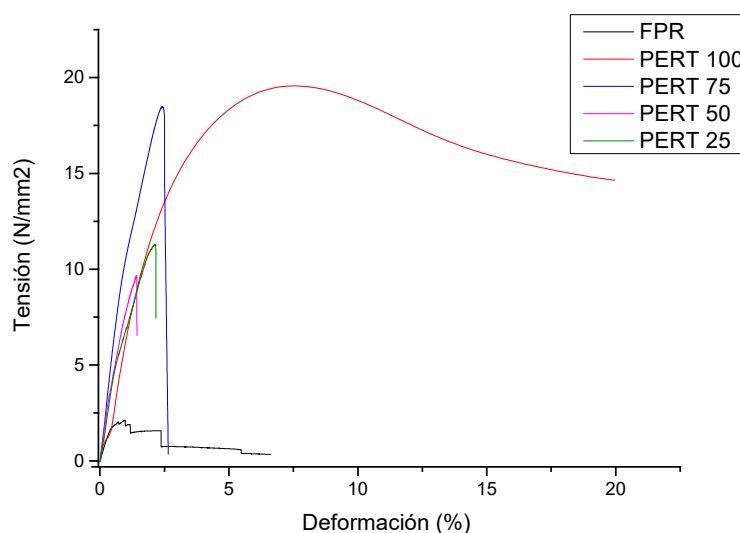


Figura 6: Curvas promedios % de Deformación vs Tensión para la FPR y PERT a diferentes proporciones.

Al comparar las FPR con las diferentes formulaciones y proporciones de PERT, PEBD y PEAD (Figura 1, 2 y 3) se observó que las que presentaban el mejor comportamiento a la flexión fueron las probetas que contiene 25 % de FPR. Así mismo, si se compara entre ellas la mayor resistencia a la flexión fueron las probetas de 25 % FPR + 75 % PERT con una resistencia máxima a la flexión de $23,6 \pm 2,8$ N/mm².

También, al comparar la resistencia máxima a la flexión del PERT 100 %, se aprecia una reducción de la curva promedio para el PERT 75 % (con 25 % de FPR).

Para el ensayo de tracción, al ser comparada las diferentes proporciones se obtuvo que para el PEAD Y PERT, figuras 5 y 6, dieron mejores resultados para las proporciones que contenían 25 % de FPR, en cambio, para el PEBD (figura 4) la mayor resistencia a la tracción se dio para la formulación del 50 % en peso de FPR. Asimismo, si realizamos la comparación entre las curvas promedios la resistencia máxima a la tracción es la del PERT 75 % con una resistencia de 19,7 N/mm².

Cuando se compara el PERT al 100 % con el PERT al 75 %, se observa que no hay una reducción significativa de la resistencia máxima a la tracción y, además, se puede apreciar una disminución de la ductilidad con el agregado de la FPR como se observa en la figura 6.

Conclusiones

Los resultados de los ensayos de tracción y flexión indican que al agregar un 25 % de cualquiera de estos plásticos, se produce una mejora significativa en las resistencias. Además, los mejores resultados se obtienen para la mezcla 25 % FPR y 75 % PERT, en comparación con la FPR 100%. Sin embargo, la máxima resistencia a la flexión y tracción disminuye alrededor de un 50 % respecto al ABS comercial.

A futuro, se realizará este estudio con otros polímeros y también se variará la temperatura de extrusión para observar la compatibilidad por medio de ensayos mecánicos. También se determinarán los compuestos orgánicos volátiles presentes.

Con los resultados obtenidos, y considerando que el material ya contiene retardantes de llama bromados como aditivos, una posible aplicación es emplearlo en la fabricación de cajas de electricidad para pilares de luz. Por lo tanto, se analizará la resistencia al fuego de estos materiales compuestos.

Referencias

- Baldé, C. P., Kuehr, R., Yamamoto, T., McDonald, R., D'Angelo, E., & Shahana. (2024). *The Global E-Waste Monitor*. Ginebra: International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf
- Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B., & Gidaracos, E. (2009). *Determination of heavy metals and halogens in plastics from electric and electronic waste*. New York, N.Y: Waste management. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.020>
- Maris, E., Botané, P., Wavrer, P., & Froelich, D. (2015). *Characterizing plastics originating from WEEE: A case study in France*. Francia: Minerals Engineering. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.12.034>
- MAYDS, M. d. (2020). *Gestión Integral de RAEE*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Libro Digital, PDF. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_raee.pdf
- Peisino, L. E., Gómez, M., Kreiker, J., Gaggino, R., & Angelelli, M. (2019). Metal leaching analysis from a core-shell WEEE plastic synthetic aggregate. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 12.
- Perrin, D., Mantoux, O., Ienny, P., Léger, R., Dumon, M., & Lopez-Cuesta, J.-M. (2016). Influence of impurities on the performances of HIPS recycled from Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE). *Waste Management*, Pages 438-445. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.014>.
- Vazquez, Y., & Barbosa, S. (2018). Uso de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno procedente de Residuos de Equipos Eléctricos y electrónicos sin una separación previa precisa. *Detritus*, 105-111. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13660>