

**Capítulo III: Enfoque innovador en el
diseño de revestimientos para
cunetas: material compuesto de
polímeros reciclados**



Enfoque innovador en el diseño de revestimientos para cunetas: material compuesto de polímeros reciclados

Innovative approach to gutter liner design: recycled polymer composite material

Ruiz-Sanchez, Clara Isabel ¹   Herrera-Feijoo, Robinson J. ¹  
Guamán-Rivera, Santiago Alexander²   Fernández-Vélez, Cristina Vanessa³  

1 Ecuador, Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo

2 Ecuador, El Coca, Orellana, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

3 Ecuador, El Oro, Machala, Universidad Técnica de Machala

 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.22>

3.1. Resumen

Este trabajo investigativo aborda la problemática social y ambiental de las vías sin cunetas revestidas, que se deterioran rápidamente, y la inadecuada disposición de plásticos y neumáticos fuera de uso. El objetivo es desarrollar un material compuesto de elastómero, PET y polietileno de alta densidad para reemplazar el hormigón en las cunetas. Mediante pruebas mecánicas, se demostró que el material compuesto tiene propiedades adecuadas. El HDPE mejora la adherencia del PET y el caucho, lo que reduce la necesidad de funcionalizar el PET. Se sugiere evaluar el material en condiciones reales y su resistencia ante factores ambientales y mecánicos. Los beneficiarios son la comunidad científica y profesionales en infraestructuras viales. Los resultados orientarán políticas sostenibles, reduciendo el impacto ambiental de desechos plásticos y NFU. En conclusión, este trabajo proporciona un valioso material compuesto, eco-amigable y con potencial para mejorar la infraestructura vial

Palabras clave: Revestimientos; Sostenibilidad; Polímeros; Adherencia; Infraestructuras.

Abstract: This research addresses the social and environmental problems of roads without lined ditches, which deteriorate rapidly, and the inadequate disposal of plastics and used tyres. The aim is to develop a composite material made of elastomer, PET and high-density polyethylene to replace concrete in ditches. Mechanical tests have shown that the composite has suitable properties. HDPE improves the adhesion of PET and rubber, which reduces the need to functionalise PET. It is proposed to evaluate the material under real conditions and its resistance to environmental and mechanical factors. The beneficiaries are the scientific community and road infrastructure professionals. The results will guide sustainable policies to reduce the environmental impact of plastic and NFU waste. In conclusion, this work provides a valuable environmentally friendly composite material with potential to improve road infrastructure

Keywords: Revestimientos; Sostenibilidad; Polímeros; Adherencia; Infraestructuras

3.2. Introducción

El alto costo de construcción de las estructuras viales y los pocos recursos que se destinan por parte del gobierno para este sector han hecho que los sectores rurales no cuenten con carreteras de calidad (Esguerra & Castro, 2018). Por lo antes descrito y para garantizar la durabilidad de un proyecto vial, se precisa un adecuado desempeño del sistema de drenaje, pues por naturaleza del material con que se forman los terraplenes o los taludes de los cortes, cualquier exceso de agua o humedad generan deslaves y esto a su vez ocasiona problemas en la superficie del camino (Castro, 2019).

Uno de los retos más grandes de ingeniería es la optimización de recursos que causen a su vez un menor impacto al medio ambiente (Berrío Alzate, 2017), es bajo este enfoque que se busca emplear dos de los desechos más peligrosos no biodegradables como son el caucho presente en los neumáticos fuera de uso (NFU) y el plástico (Palacios & Benavides, 2017) para sintetizar un material compuesto que permita sustituir al hormigón en el recubrimiento de cunetas; ya que son estos desechos los que reducen la vida útil de los rellenos sanitarios. De acuerdo al INEN en 2018 se generaron 261778 toneladas de plástico y 2,4

millones de NFU. Lo que se busca es sintetizar y caracterizar un material compuesto a partir de elastómero obtenido de los neumáticos fuera de uso y tereftalato de polietileno proveniente de las botellas plásticas, estos dos elementos reciclados constituyen la parte principal del material compuesto adicional se hicieron pruebas con la utilización de HDPE y surfactante para mejorar la adherencia interfacial entre componentes.

Esto con el objetivo de identificar la formulación adecuada de la mezcla que permita obtener un material con propiedades mecánicas iguales o mejores que el hormigón para poderlo utilizar en el revestimiento de cunetas, evaluando su resistencia a la absorción de agua y a la fractura, comparando los valores obtenidos con los que presenta el hormigón para poder realizar la validación técnica y económica para determinar la viabilidad del proyecto.

En los últimos años las investigaciones en torno a fomentar aportes positivos que permitan contribuir al cuidado del medio ambiente han permitido la innovación en el uso de materias primas y procesos, siendo una de ellas, el área de la construcción y más específicamente el uso de materiales reciclados en proyectos viales que generan un aporte a la sostenibilidad del planeta. (Sainz et al., 2022) describen una metodología de reciclaje de polietileno para la fabricación de fibras que luego fueron empleadas como refuerzo para hormigón estructural, los resultados mostraron una mejora de las propiedades mecánicas cuando se incorporaron las fibras, particularmente la tracción fuerza; y también revelaron un excelente desempeño controlando el agrietamiento en el concreto. Por otro lado (Ramírez-Pico et al., 2020) tras el desarrollo de su trabajo investigativo titulado Proposal for pavers made of recycled rubber conclude que la aplicación de caucho complementa de forma óptima los materiales y a su vez confiere mayor resistencia y durabilidad. De igual forma (Palma et al., 2016) en su proyecto Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos, determinaron que el uso de éstos en sistemas de pavimentación proporciona a las mezclas grandes beneficios en cuanto a resistencia a la fractura, ahuellamiento, susceptibilidad térmica y permeabilidad, lo que resulta en la prolongación del tiempo de vida del pavimento.

De lo antes mencionado podemos afirmar que los polímeros de desecho presentan un potencial formidable, sin embargo, históricamente la industria de la construcción de carreteras se negó a su aplicación.

Puesto que este trabajo se enfoca en el uso de polímeros reciclados como materia prima para la síntesis de un material compuesto que pueda ser empleado en el revestimiento de cunetas, es de gran importancia mencionar y exponer apuntes, teorías y conceptos distintos con el fin de complementar y desarrollar la investigación de una manera óptima.

En primer lugar es importante definir el material que se busca sustituir, y que generalmente es usado para el revestimiento de las cunetas, el hormigón conocido también como concreto se obtiene al mezclar un material aglutinante (cemento portland hidráulico), un material que sirva como relleno (agregados o áridos), agua y de manera ocasional aditivos, que al endurecerse forma una matriz compacta (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (Isidro, 2020). Por otro lado tenemos las cunetas que no otra cosa que zanjas longitudinales, colocadas a ambos lados o a un solo lado de la carretera, con el objeto de captar, acarrear y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial (Robles, 2019). En cuanto a los polímeros podemos afirmar que son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros. Los que más se usan para modificar los asfaltos, son los termoplásticos, porque al ser sometidos a procesos de reutilización con aplicación de altas temperaturas mantienen una gran parte de sus propiedades físicas y químicas (Asociación de Asfalto de Virginia, 2015). El Polietileno de alta densidad, presenta estructura lineal con escasas ramificaciones, lo que genera una alta cristalinidad, este material se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas; es incoloro, inodoro, no tóxico y resistente tanto a esfuerzos como a agentes químicos (Guerrero et al., 2017). En tanto los elastómeros se definen como polímeros naturales o sintéticos, también conocidos como cauchos, son materiales poliméricos que destacan por su elevada elasticidad (González, 2017). Es importante también conocer que la funcionalización del tereftalato de polietileno tiene como fin aumentar la adherencia interfacial en el material compuesto, para ello es necesario tratar el componente con una solución al 1%

de un surfactante (Cazan et al., 2017). Los sistemas de polímero-tensoactivo tienen la capacidad de controlar la estabilidad y la reología en una amplia gama de composiciones (Celis, 2020).

Las emulsiones además de poder estabilizarlas por agentes tensioactivos, también se estabilizan por polímeros (Farfán, 2019), por tal razón se realizaron pruebas con la aplicación del HDPE.

3.3. Materiales y Métodos

La metodología de este estudio experimental se caracteriza por tres elementos científicos esenciales: control, manipulación y observación. Se llevó a cabo la manipulación de la proporción de componentes en cada mezcla para determinar las propiedades de las muestras sintetizadas. El diseño del estudio fue transversal, permitiendo la medición de propiedades en especímenes de diferentes características para obtener una comprensión completa del comportamiento de las probetas sintetizadas.

Para lograr el primer objetivo de determinar las propiedades de las muestras sintetizadas, se prepararon las muestras mediante la trituración de PET, caucho y HDPE, y se estructuraron seis composiciones con diferentes porcentajes de material reciclado. Se elaboraron nueve muestras para cada composición, que fueron sometidas a pruebas físico-mecánicas para la evaluación de sus propiedades.

El segundo objetivo de evaluar las propiedades físico-mecánicas en el material compuesto implicó la realización de ensayos mecánicos, como pruebas de flexión, resistencia a la tracción y dureza, entre otras. Estos valores obtenidos fueron comparados con los valores de referencia del hormigón, permitiendo una evaluación más completa de las propiedades del material compuesto. Además, se llevó a cabo un tratamiento de funcionalización del PET (Meza & Shaikh, 2020), donde la mitad de las muestras se sometieron a una solución de lauril éter sulfato sódico al 1% para evaluar su efecto en las propiedades del material.

El tercer objetivo se centró en analizar la adherencia interfacial en el material compuesto. Se aplicó un tratamiento de surfactante al tereftalato de polietileno

con el propósito de determinar si este proceso incrementaba la adherencia interfacial en el material compuesto (H. Palma & Tenesaca, 2020). Se compararon las propiedades de las muestras tratadas y no tratadas para evaluar su efecto en la adherencia (Cazan et al., 2017).

Considerando que se va a elaborar una mezcla de tereftalato de polietileno y caucho reciclados, para determinar la formulación adecuada que brinde altas propiedades mecánicas para el revestimiento de cunetas, se plantea hacer seis composiciones con diferentes porcentajes del material reciclado, y por cada composición 9 muestras para poder medir los parámetros necesarios (Tabla 1)

Tabla 1.

Diseño de muestras

Denominación de la muestra		T (°C)	Tiempo moldeo (min)
Muestras Tipo A PET funcionalizado	A1	200	15
	A2		
	A3		
Muestras Tipo B PET no funcionalizado	B1	200	15
	B2		
	B3		

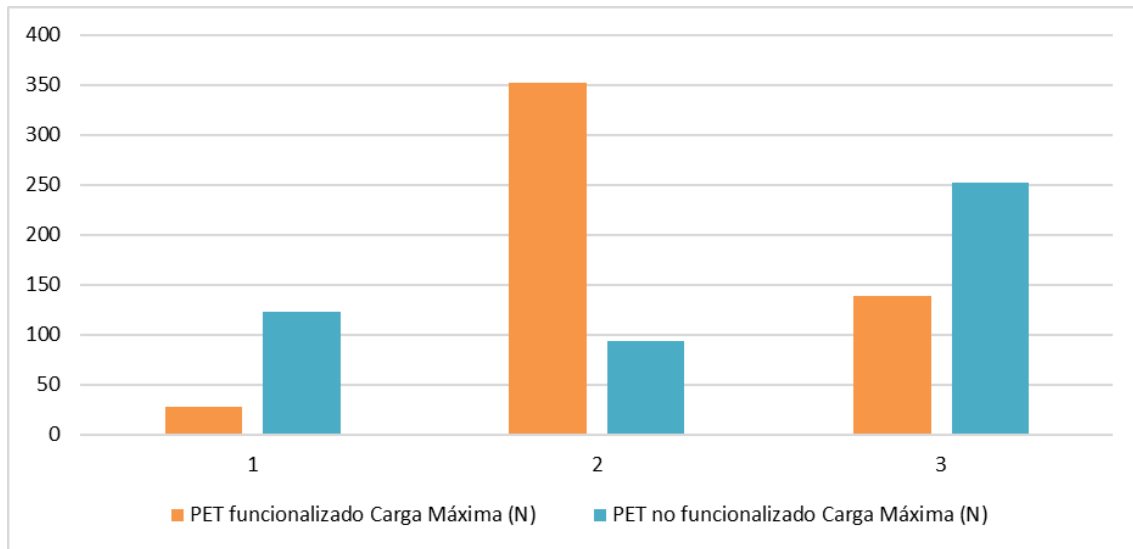
De tal forma que para las muestras A1 y B1 se utilizó elastómero y PET funcionalizado y no funcionalizado respectivamente, para las otras muestras se incluyó en la composición el HDPE. Para poder determinar si el material desarrollado puede ser utilizado para reemplazar al hormigón en el recubrimiento de las cunetas fue necesario comparar los valores obtenidos tras evaluar sus propiedades mecánicas con los valores del hormigón. Adicional se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos en las pruebas mecánicas de flexión para determinar si la modificación de la composición altera de manera significativa las propiedades mecánicas del material.

3.4. Resultados

En la Figura 1 se muestran los valores obtenidos para la carga máxima en las pruebas de flexión de aquellas muestras que fueron elaboradas con PET y elastómero.

Figura 1.

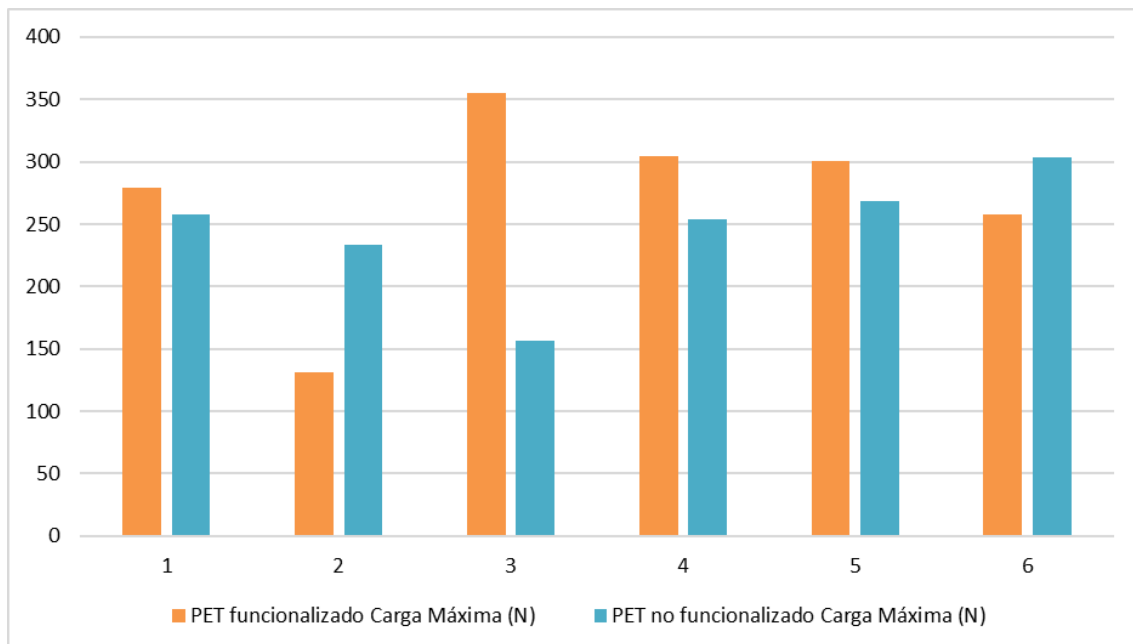
Resultados de carga máxima (N), en las pruebas de flexión.



En la Figura 2 presentan los datos obtenidos para la carga máxima en las pruebas de flexión para las muestras espécimen que además del PET y el elastómero contienen HDPE.

Figura 2.

Resultados de carga máxima (N), en las pruebas de flexión muestras PET – elastómero - HDPE



Las muestras elaboradas con PET funcionalizado presentan una carga máxima superior en comparación con las muestras que contienen PET sin funcionalizar.

Este hallazgo sugiere que el tratamiento del plástico con la surfactante mejora significativamente la adherencia de los componentes, lo que permite obtener una mezcla más compacta y homogénea.

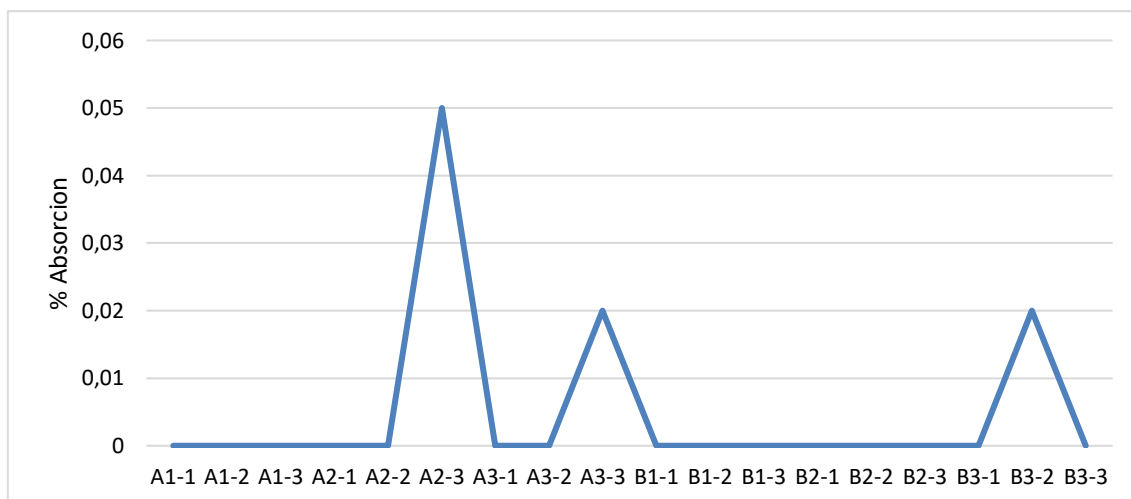
Sin embargo, es relevante destacar que las muestras elaboradas con PET no funcionalizado, pero que contienen un mayor porcentaje de polietileno de alta densidad (HDPE), muestran valores que no difieren significativamente de las muestras con PET funcionalizado. Estos resultados indican que la funcionalización del PET no es siempre necesaria, siempre y cuando se utilice un mayor porcentaje de HDPE en la composición del material sintetizado. El HDPE actúa como un aglutinante, mejorando la adherencia de los materiales y compensando la falta de funcionalización en el PET.

Los datos demuestran que el tratamiento de funcionalización del PET puede mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto, pero cuando se utiliza un contenido más alto de HDPE, la funcionalización del PET no es esencial para lograr una mejora significativa en las propiedades de adherencia del material sintetizado. Estos resultados tienen importantes implicaciones en la optimización de la formulación de materiales compuestos basados en plásticos reciclados para aplicaciones de recubrimiento de cunetas, lo que contribuye a la sostenibilidad y al desarrollo de soluciones más eco-amigables en infraestructuras viales.

Los resultados obtenidos en la prueba de absorción de agua indican que el material sintetizado es impermeable (Figura 3). No obstante, se observan valores atípicos en la gráfica, los cuales pueden atribuirse a una mala compactación de la mezcla durante el proceso de moldeo debido a una insuficiente aplicación de presión.

Figura 3.

Porcentaje de absorción de las muestras.



Para evaluar la posible diferencia entre las medias de los valores obtenidos para la carga máxima en las pruebas de flexión de las probetas elaboradas, se aplicó el análisis de varianza ANOVA a los datos obtenidos. De esta manera, se pudo determinar si la resistencia a la carga máxima se ve afectada por la composición de las probetas espécimen.

Los datos para el material sintetizado exhiben impermeabilidad en la prueba de absorción de agua, pero también se identificaron valores atípicos que podrían ser atribuidos a problemas de compactación durante el proceso de moldeo. Además, el análisis de varianza ANOVA permitió evaluar la resistencia a la carga máxima y su posible dependencia de la composición de las probetas. Estos hallazgos son esenciales para comprender y mejorar las propiedades del material compuesto en función de su aplicación en revestimientos de cunetas, contribuyendo así a la optimización y sostenibilidad de infraestructuras viales.

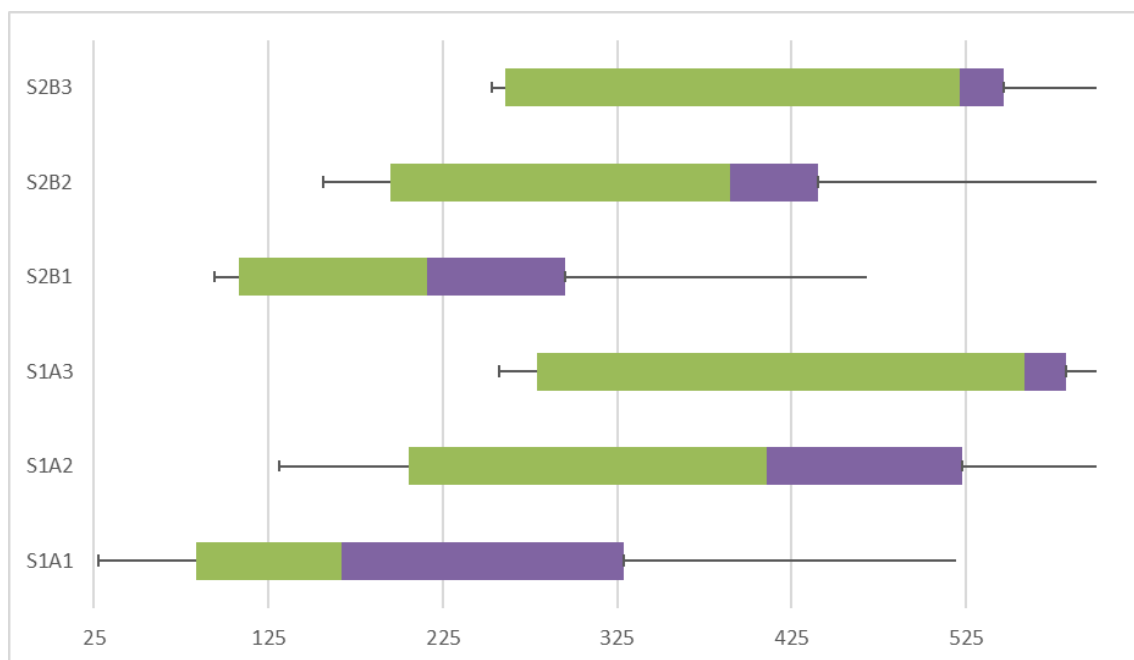
De acuerdo con los resultados obtenidos en la Figura 4 y considerando el intervalo de confianza del 95%, se puede concluir que no existe una diferencia estadística significativa entre las muestras. Esto implica que cualquiera de las muestras evaluadas cumple con los parámetros necesarios dentro de las propiedades mecánicas para sustituir al hormigón en el revestimiento de cunetas. El hecho de que no haya diferencias estadísticamente significativas entre las muestras indica que todas las composiciones desarrolladas presentan

un nivel de resistencia mecánica suficiente para su aplicación en revestimientos de cunetas. Estos resultados son alentadores, ya que sugieren que se puede seleccionar cualquiera de las formulaciones estudiadas sin comprometer la calidad y desempeño del material en términos de resistencia mecánica.

Estos hallazgos son de gran relevancia en el ámbito de la ingeniería de materiales y el desarrollo de soluciones sostenibles en infraestructuras viales. La posibilidad de utilizar materiales compuestos a partir de plásticos reciclados, con propiedades mecánicas adecuadas, como alternativa al hormigón tradicional en el revestimiento de cunetas, no solo contribuye a la reducción de residuos plásticos, sino que también ofrece ventajas en términos de durabilidad y costos.

Figura 4.

Intervalo de confianza entre muestras.



3.5. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan importantes hallazgos relacionados con el desarrollo de materiales compuestos a partir de plásticos reciclados para aplicaciones de recubrimiento de cunetas. La funcionalización del PET con surfactante mostró mejoras significativas en la adherencia de los

componentes, lo que resultó en una mayor carga máxima en las pruebas de flexión (Fernández et al., 2021). Sin embargo, también se observó que las muestras elaboradas con PET no funcionalizado, pero con un mayor contenido de HDPE, alcanzaron valores de carga máxima comparables a las muestras con PET funcionalizado. Esto sugiere que la funcionalización del PET no siempre es esencial cuando se utiliza una cantidad suficiente de HDPE como aglutinante, lo que podría simplificar el proceso de producción y reducir costos (Zhu et al., 2016).

Los resultados relacionados con la impermeabilidad del material sintetizado también son destacables. Aunque la prueba de absorción de agua demostró que el material es impermeable, se identificaron valores atípicos en la gráfica, lo que sugiere problemas de compactación durante el proceso de moldeo. Estos hallazgos resaltan la importancia de asegurar una adecuada aplicación de presión durante la fabricación del material compuesto para garantizar resultados consistentes y óptimos.

Al comparar nuestros resultados con investigaciones previas, se encontró que la funcionalización del PET para mejorar la adherencia de los componentes ha sido abordada en otros estudios con resultados similares (Cazan et al., 2017; Fernández et al., 2021). Sin embargo, este estudio destaca la relevancia de considerar también la influencia del contenido de HDPE en la composición, lo que podría proporcionar una alternativa más sostenible y económica para mejorar la adherencia del material sintetizado.

En cuanto a las implicaciones prácticas de esta investigación, los beneficios potenciales son múltiples. Los materiales compuestos desarrollados en este estudio muestran ser una opción viable para sustituir al hormigón en el revestimiento de cunetas (Cirisano & Ferrari, 2021; Getor et al., 2020; Lewandowski & Skórczewska, 2022). Esto no solo contribuiría a la reducción de residuos plásticos y a la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrecería ventajas en términos de durabilidad y costos en proyectos de infraestructuras viales (Brasileiro et al., 2019; Cirisano & Ferrari, 2021; Ma et al., 2022; Nizamuddin et al., 2021; Tulashie et al., 2022).

Con base en los resultados obtenidos, se sugieren posibles investigaciones futuras que podrían profundizar en aspectos específicos. Por ejemplo, sería

interesante evaluar el comportamiento a largo plazo de los materiales compuestos en condiciones reales de uso en carreteras y cunetas. Asimismo, se podría investigar la resistencia y durabilidad del material compuesto frente a condiciones climáticas extremas y a la exposición a agentes ambientales y mecánicos.

Los beneficiarios potenciales de esta información incluyen a la comunidad científica y académica, así como a profesionales del sector de ingeniería de materiales y construcción de infraestructuras viales. Los resultados de esta investigación podrían ser útiles para el desarrollo de políticas y prácticas sostenibles en el manejo de plásticos reciclados y en la construcción de infraestructuras más amigables con el medio ambiente

3.6. Conclusiones

Se observó que la funcionalización del PET con surfactante mejora significativamente la adherencia de los componentes, lo que resulta en un aumento en la carga máxima en las pruebas de flexión. Sin embargo, también se encontró que las muestras elaboradas con PET no funcionalizado, pero con un mayor contenido de HDPE, alcanzan valores de carga máxima comparables a las muestras con PET funcionalizado. Esto sugiere que la funcionalización del PET no siempre es necesaria, siempre y cuando se utilice una cantidad suficiente de HDPE como aglutinante. Esta conclusión es relevante desde el punto de vista práctico, ya que simplifica el proceso de producción y puede reducir costos sin comprometer las propiedades mecánicas del material compuesto.

Se demostró impermeabilidad del material sintetizado mediante la prueba de absorción de agua. Aunque el material demostró ser impermeable, se identificaron valores atípicos en la gráfica que podrían atribuirse a problemas de compactación durante el proceso de moldeo. Esto resalta la necesidad de garantizar una adecuada aplicación de presión durante la fabricación del material para obtener resultados consistentes y óptimos.

Esta investigación ha demostrado que los materiales compuestos desarrollados a partir de plásticos reciclados tienen el potencial de ser una alternativa viable y

prometedora para sustituir al hormigón en el revestimiento de cunetas. La funcionalización del PET puede mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto, pero su necesidad puede reducirse cuando se emplea un mayor porcentaje de HDPE como aglutinante. Además, se destaca la importancia de asegurar una adecuada compactación durante el proceso de moldeo para garantizar resultados consistentes.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones tanto para la comunidad científica y académica como para profesionales en el campo de la ingeniería de materiales y construcción de infraestructuras viales. La información obtenida podría beneficiar la toma de decisiones en proyectos de construcción sostenibles, promoviendo el uso responsable de plásticos reciclados y contribuyendo al desarrollo de soluciones eco-amigables en la industria de la construcción.

Referencias bibliográficas

- Asociación de Asfalto de Virginia. (2015). *Concreto Asfáltico*. 2–4.
- Berrío Alzate, A. (2017). *Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo*. 101.
- Brasileiro, L., Moreno-Navarro, F., Tauste-Martínez, R., Matos, J., & Rubio-Gómez, M. del C. (2019). Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A review. *Sustainability*, 11(3), 646.
- Castro, W. (2019). *Construcción de una infraestructura vial y transpirabilidad en las vías asociación de vivienda “Las Américas” distrito de Vegueta – Huaura – Lima*.
- Cazan, C., Cosnita, M., & Duta, A. (2017). Effect of PET functionalization in composites of rubber–PET–HDPE type. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(3), 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.10.005>
- Cirisano, F., & Ferrari, M. (2021). Superhydrophobicity and durability in recyclable polymers coating. *Sustainability*, 13(15), 8244.
- Esguerra, A., & Castro, D. (2018). *Basalto como agregado en concreto para construcción de bermas y cunetas en vías terciarias*. September, 160–164.
- Fernández, M. E., Pereira, M. E., Petrone, F., Chocca, C., & Rodríguez, G. (2021). UV-C Treatment to Functionalize the Surfaces of Pet and PP Fibers for Use in Cementitious Composites. Adherence Evaluation. *Fibre*

- Reinforced Concrete: Improvements and Innovations: RILEM-Fib International Symposium on FRC (BEFIB) in 2020* 10, 938–948.
- Getor, R. Y., Mishra, N., & Ramudhin, A. (2020). The role of technological innovation in plastic production within a circular economy framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105094.
- González, A. (2017). *Materiales elastoméricos con memoria de forma*.
- Guerrero, C., Lozano, T., González, V., & Arroyo, E. (2017). *Morfología y propiedades de politereftalato de etilen-glicol y polietileno de alta densidad*.
- Isidro, J. (2020). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en la cuneta de la carretera marcara – chancos entre las progresivas (1+000km al 2+000km) del distrito de Marcara, provincia de Carhuaz, departamento de Ancash – 2019*.
- Lewandowski, K., & Skórczewska, K. (2022). A brief review of poly (vinyl chloride)(PVC) recycling. *Polymers*, 14(15), 3035.
- Ma, J., Nawarathna, H. M. C., & Hesp, S. A. M. (2022). On the sustainable use of recycled plastics in flexible asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production*, 359, 132081.
- Meza, A., & Shaikh, F. U. A. (2020). Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. *Construction and Building Materials*, 265, 120331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>
- Nizamuddin, S., Boom, Y. J., & Giustozzi, F. (2021). Sustainable polymers from recycled waste plastics and their virgin counterparts as bitumen modifiers: A comprehensive review. *Polymers*, 13(19), 3242.
- Palacios, S. I. Z., & Benavides, G. C. (2017). Paneles Constructivos Con Caucho Triturado De Neumáticos. *Jóvenes En La Ciencia*, 2(1), 1388–1392.
- Palma, C., Ortiz, J., Ávalos, F., & Castañeda, A. (2016). Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. *Afinidad*, 73(574), 119–124.
- Palma, H., & Tenesaca, F. (2020). *Estudio de la degradabilidad del PET (Polietilen Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao*.
- Ramírez-Pico, L. A., Orjuela-Rodríguez, A. E., & Angulo-Blanquissett, G. E. (2020). Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(1), 44–53. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.34>
- Robles, F. S. (2019). Determinación y evaluación de patologías del concreto en las cunetas de la carretera al condominio El Pinar en la progresiva 0.00 km – 1.00 km (lado izquierdo) del distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Ancash – 2018. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sainz, J., Sánchez, M., Gonzalez, L., Tamayo, P., Garcia, G., Aghajanian, A., Diego, S., & Thomas, C. (2022). Recycled Polyethylene Fibres for Structural

Concrete _ Enhanced Reader.pdf. *Applied Sciences (Switzerland)*.

Tulashie, S. K., Dodoo, D., Ibrahim, A. A.-W., Mensah, S., Atisey, S., Odai, R., & Mensah, D. (2022). Recycling plastic wastes for production of sustainable and decorative plastic pavement bricks. *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(4), 265.

Zhu, Y., Romain, C., & Williams, C. K. (2016). Sustainable polymers from renewable resources. *Nature*, 540(7633), 354–362.

