

ARTÍCULOS

Influencia de un pavimento ecológico con PET reciclado en el sector de 3 de octubre

Impact of an ecological pavement with recycled PET in the 3 de Octubre sector



Jhon Kendy Diego-Martínez¹, Enrique Temple-Bonilla², José Pepe Muñoz-Arana³



jhon.kendy.martinez.20@gmail.com ¹

Universidad César Vallejo.
Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
Chimbote, Santa, Perú.



enriquetemple9@gmail.com

² Universidad César Vallejo.
Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
Chimbote, Santa, Perú.



jopemuar@gmail.com

³ Universidad César Vallejo.
Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
Chimbote, Santa, Perú.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 18, núm. 2, 2024

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 11 diciembre 2023

Aprobación: 10 octubre 2024

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.5918>

Autor de correspondencia:

jhon.kendy.martinez.20@gmail.com



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar: Diego-Martínez, J. K., Temple-Bonilla, E., & Muñoz-Arana, J. P. (2024). Influencia de un pavimento ecológico con PET reciclado en el sector de 3 de octubre. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 18(2), 118-125.

<https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.5918>

RESUMEN

La investigación llevada a cabo tuvo como objetivo principal evaluar el impacto del PET reciclado en las características mecánicas de la mezcla asfáltica destinada a la construcción de un pavimento flexible. Este estudio se clasifica como aplicado con un enfoque cuantitativo, y se fundamenta en un diseño experimental de tipo cuasiexperimental. Para el análisis, se utilizó una población de 20 briquetas. Los resultados indicaron que al incorporar un 3% de PET en la mezcla asfáltica, se observaron valores de flujo, porcentajes de vacíos y estabilidad que superan a los de las mezclas convencionales, cumpliendo con los parámetros establecidos por la MTC E 504. En conclusión, el análisis inferencial realizado mediante el ANOVA demuestra que la adición de PET reciclado en proporciones de 1,5%, 3% y 4,5% mejora de manera significativa las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica para un pavimento ecológico. Sin embargo, al añadir un 3%, los resultados se encuentran dentro de los rangos fijados por la MTC.

Palabras claves: mezcla asfáltica en caliente, diseño de asfalto; asfalto ecológico.

ABSTRACT

The research conducted aimed primarily to evaluate the impact of recycled PET on the mechanical properties of the asphalt mixture intended for the construction of a flexible pavement. This study is classified as applied with a quantitative approach and is based on a quasi-experimental design. For the analysis, a population of 20 briquettes was used. The results indicated that by incorporating 3% of PET into the asphalt mixture, flow values, void percentages, and stability were observed to exceed those of conventional mixtures, meeting the parameters established by MTC E 504. In conclusion, the inferential analysis conducted through ANOVA demonstrates that the addition of recycled PET in proportions of 1.5%, 3%, and 4.5% significantly improves the mechanical properties of the asphalt mixture for an ecological pavement. However, by adding 3%, the results fall within the ranges set by MTC.

Palabras claves: hot mix asphalt, asphalt design, eco-friendly asphalt.

INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de plásticos, incluido el PET (polietileno tereftalato), ha desencadenado una crisis medioambiental de proporciones alarmantes a nivel global. Los productos de PET están presentes en una amplia variedad de artículos, desde botellas de bebidas hasta envases de alimentos y textiles. La falta de gestión adecuada de estos residuos ha provocado la contaminación de los océanos y la degradación del entorno natural. Los plásticos se descomponen en microplásticos, que ingresan en la cadena alimentaria, afectando tanto a la vida marina como a la salud humana (Ben Zair *et al.*, 2022, p.9). Esta tesis podría investigar cómo el reciclaje de PET en la construcción de pavimentos ecológicos puede ser una estrategia efectiva para reducir la contaminación plástica a nivel mundial y mitigar el agotamiento de los recursos naturales utilizados en la construcción (Diego Martínez y Temple Bonilla, 2023).

En el contexto peruano, la gestión de residuos plásticos se presenta como un problema urgente. A pesar de los esfuerzos realizados para promover el reciclaje, la infraestructura y la educación en esta materia siguen siendo insuficientes (Botero Jaramillo *et al.*, 2014). Esto ha llevado a la acumulación de residuos plásticos en vertederos y áreas urbanas, como en Nuevo Chimbote. Además, la construcción de pavimentos convencionales a menudo implica la explotación de recursos naturales, como agregados y asfalto, lo que incrementa la presión sobre el medio ambiente. La tesis podría analizar cómo la adopción de pavimentos ecológicos con PET reciclado podría contribuir a disminuir la cantidad de plástico en los vertederos, reducir la huella de carbono de la construcción y mejorar la calidad de las infraestructuras civiles en el contexto peruano.

En Nuevo Chimbote, 3 de octubre, los problemas locales se centran en la deficiente infraestructura vial y la acumulación de residuos plásticos. Las calles en mal estado dificultan el acceso y la movilidad de los residentes, afectando negativamente su calidad de vida y el desarrollo económico de la zona. La presencia de botellas de PET y otros residuos plásticos en el entorno es evidente y puede generar problemas de contaminación y salud pública. La falta de un sistema adecuado de gestión de residuos plásticos y la necesidad de mejorar las condiciones viales son cuestiones preocupantes para la comunidad. Esta tesis explora cómo la implementación de un pavimento ecológico con PET reciclado puede abordar estas problemáticas locales, mejorando la infraestructura vial y contribuyendo a la limpieza del entorno, al mismo tiempo que involucra a la comunidad en prácticas sostenibles y en la gestión de residuos a nivel local.

La integración de PET reciclado en pavimentos flexibles ofrece múltiples ventajas. En primer lugar, aborda aspectos de sostenibilidad ambiental al reutilizar el PET reciclado, lo que contribuye a la reducción de residuos plásticos en vertederos y respalda prácticas eco-amigables (Bansal *et al.*, 2017, p.10). Además, esta elección fomenta la conservación de recursos naturales y la disminución del consumo energético asociado con la producción de materiales vírgenes.

Desde un punto de vista técnico, la inclusión de PET puede mejorar las propiedades mecánicas del pavimento, como la resistencia a la tracción y la durabilidad, lo que se traduce en un mejor desempeño a lo largo del tiempo (Bressi *et al.*, 2019, p.11). Esta mejora en las características mecánicas puede también permitir la reducción de costos en comparación con el uso de materiales convencionales. La disminución de la dependencia de materias primas no renovables es otra ventaja clave, contribuyendo a la conservación de recursos limitados y alineándose con prácticas de gestión sostenible (Chávez Chávez y Zavala, 2022, p.76). Esta estrategia no solo puede resultar económicamente beneficiosa, sino que también mejora la imagen de la empresa al demostrar su compromiso con prácticas comerciales responsables y sostenibles. Además, el uso de PET reciclado en pavimentos flexibles puede cumplir con requisitos normativos y regulaciones ambientales, posicionando el proyecto en conformidad con estándares que promueven prácticas sostenibles (Álvarez-Risco, 2020, p.3). La flexibilidad en el diseño es otra ventaja significativa, permitiendo adaptarse a diversas especificaciones y requisitos de proyectos, brindando opciones versátiles para diferentes contextos y necesidades locales (Mejía y Sierra, 2017, p. 58). Por todo lo anterior, se propone determinar la influencia del PET reciclado en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica para un pavimento flexible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se aborda desde una perspectiva predominantemente cuantitativa, utilizando un diseño descriptivo y, además, implementando un diseño cuasi-experimental. La mezcla asfáltica, fundamental en la construcción de carreteras y pavimentos, es un compuesto ingenioso que combina elementos clave para asegurar su resistencia y durabilidad (Chávez-Romero *et al.*, 2019). En su elaboración, se utilizan principalmente dos componentes esenciales: los agregados minerales, que comprenden grava y arena, y el asfalto, también conocido como betún, que se obtiene del petróleo.

El asfalto actúa como aglutinante, proporcionando cohesión a la mezcla (Flores, 2018, p.15). El proceso de producción

comienza con el calentamiento del asfalto para reducir su viscosidad, lo que facilita una mezcla uniforme con los agregados. En la planta de mezcla en caliente, se combinan los agregados calientes con el asfalto, resultando en una mezcla homogénea que se transportará y extenderá sobre la superficie a pavimentar. Posteriormente, se realiza la compactación mediante rodillos pesados para alcanzar la densidad adecuada, lo que mejora la resistencia y durabilidad del pavimento (Ghiasi *et al.*, 2022, p.19).

Las propiedades mecánicas de la mezcla son igualmente importantes. Por ejemplo, la resistencia se refiere a la capacidad del pavimento para soportar cargas sin sufrir deformaciones permanentes; una resistencia adecuada es crucial para evitar deformaciones bajo cargas pesadas. Asimismo, la elasticidad describe la capacidad del pavimento para recuperar su forma original tras haber sido sometido a cargas. Un alto módulo de elasticidad es deseable para mantener la estabilidad. La adherencia, que es la capacidad de las capas del pavimento para permanecer unidas, es fundamental para prevenir el desgaste prematuro y la formación de grietas (Vila y Jaramillo, 2018, p.12). La resistencia a la fatiga es vital para la durabilidad del pavimento, ya que determina su capacidad para resistir daños acumulados bajo cargas repetidas.

Para esta investigación, se utilizó el Método Marshall, un enfoque común en el diseño y control de calidad de mezclas asfálticas (Eriksen *et al.*, 2019, p.12). Este método implica la compactación de una muestra de mezcla asfáltica en un molde Marshall a una temperatura específica y bajo una presión determinada. Luego se miden propiedades como la estabilidad y el flujo para asegurar que la mezcla cumpla con los requisitos de diseño y calidad. Todos los resultados y procedimientos están basados en las normativas del Manual de Carreteras (MTC), que es una referencia técnica ampliamente utilizada en Perú para guiar el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras. Este manual incluye normativas y procedimientos que abarcan una variedad de aspectos de la ingeniería vial, incluyendo aquellos relacionados con pavimentos flexibles. Además, se incorporará el PET, un polímero termoplástico ampliamente utilizado en envases de bebidas, textiles y otros productos. Es conocido por su resistencia, durabilidad y reciclabilidad. El PET reciclado se refiere a la reutilización de envases de PET desechados, en la construcción de pavimentos ecológicos (Mahdi *et al.*, 2022, p.4). El uso de PET reciclado en pavimentos implica la incorporación de partículas de PET en las mezclas asfálticas, lo que tiene el potencial de reducir la cantidad de residuos plásticos en vertederos y promover la sostenibilidad en la construcción de carreteras. Además, la adición de PET puede mejorar ciertas propiedades de las mezclas asfálticas, como la resistencia a la fatiga y la durabilidad, y también puede disminuir la dependencia de recursos naturales no renovables, como el agregado, en la construcción de pavimentos (Chu *et al.*, 2021, p.12).

Se fabricaron briquetas con dimensiones de 63,5 mm de altura y 101,6 mm de diámetro, incorporando agregados de PET en proporciones del 1,5%, 3% y 4,5%. Posteriormente, se procede al calentamiento de la mezcla a 140°C y, una vez lista, se coloca en el molde para ser compactada mediante 75 golpes, conforme a lo estipulado por el Método Marshall para tráfico pesado. Se adquirieron los materiales necesarios para la preparación de la mezcla asfáltica, como se observa en la Figura 1. Se utilizó cemento asfáltico PEN 60/70, considerado el más adecuado para mezclas asfálticas en caliente. Además, el agregado grueso se extrajo de la cantera Pancho Medina - Huambacho, mientras que el agregado fino proviene de la cantera La Carbonera. Por otro lado, el plástico PET fue recolectado hasta mediados de 2023, promoviendo así la práctica del reciclaje en la comunidad local.



FIGURA 1
Agregados para la mezcla asfáltica

Se llevaron a cabo ensayos en los agregados en un laboratorio, con la asistencia de técnicos capacitados. Solo aquellos agregados que cumplan con los parámetros establecidos en los protocolos basados en las normas técnicas peruanas serán considerados para su inclusión en el diseño de la mezcla asfáltica. Paralelamente, se trabajó con el plástico PET recopilado, asegurándose de que se encuentre en buenas condiciones, seco y libre de contaminantes visibles. Este material fue sometido a un proceso de trituración y se almacenó en un lugar seco. Una vez que los agregados fueron aprobados y el plástico PET preparado en forma de polvo, se realizó la dosificación de la mezcla asfáltica utilizando el método Marshall, conforme a la MTC E 504 (ASTM D 1559), para obtener una muestra de control. Se recopilaron los datos derivados del diseño de la mezcla y se procedió a replicar el proceso con muestras adicionales en las que se añadieron PET en porcentajes del 1,50%, 3% y 4,50%. Se registraron los datos correspondientes a cada diseño de mezcla asfáltica. Con todos los materiales y dosificaciones preparados, se fabricaron 16 briquetas de asfalto, como se observa en la Figura 2, distribuidas en cuatro grupos: 4 briquetas para la muestra convencional, 4 para la muestra con un aditivo del 1,50%, 4 para la muestra con 3% y 4 para la muestra con 4,50%.



FIGURA 2
Elaboración de las briquetas de asfalto

Todas las briquetas tuvieron dimensiones de 64 mm x 102 mm. Posteriormente, estas briquetas de asfalto fueron sometidas a ensayos de Marshall de acuerdo con la MTC E 504, en un laboratorio adecuado, con la asistencia de técnicos especializados. Estos ensayos permitieron determinar propiedades mecánicas del asfalto, como el flujo, la estabilidad y el porcentaje de vacíos de aire. Los resultados fueron registrados y presentados en gráficos y tablas utilizando el software Microsoft Excel, lo que facilitó la comparación entre la mezcla estándar y las mezclas adicionadas con PET. Finalmente, se realizó un análisis estadístico inferencial utilizando el software SPSS para determinar la correlación entre las variables y evaluar la influencia del porcentaje de PET en la mezcla asfáltica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación realizada por Asmael y Waheed (2018) destaca la importancia de incorporar tereftalato de polietileno (PET) en forma de fibras con dimensiones menores a 1 cm en las mezclas bituminosas. Según sus hallazgos, esta adición mejora la adherencia de las mezclas de asfalto en caliente en más del 20% en comparación con los estándares normativos. Siguiendo esta línea de pensamiento, en la presente investigación se optó por introducir el PET en forma de partículas de tamaño inferior a 0,5 cm para asegurar una distribución homogénea entre los agregados, lo que promueve una mayor adherencia de la mezcla con el betún. Esta elección se respalda en estudios previos, como el de Condori-Ojeda (2020), que sugiere que la adición de PET en proporciones menores a 0,5 mm puede mejorar la adherencia a los agregados áridos, evitando la segregación y la formación de burbujas de aire. Estos resultados presentan un enfoque prometedor para optimizar las propiedades de las mezclas bituminosas.

Además, es importante resaltar que, según la investigación de Chavarri y Rubio (2020), el uso de cemento asfáltico PEN 60/70, similar al seleccionado en este estudio, mostró un excelente desempeño en términos de resistencia a la fatiga y durabilidad del pavimento. Los resultados de Silva *et al.* subrayan que esta elección de cemento asfáltico contribuye significativamente a prolongar la vida útil de la superficie de rodadura, reducir el deterioro y, en última instancia, disminuir los costos de mantenimiento. Esto refuerza la decisión de emplear el PEN 60/70, ya que buscamos no solo una alta resistencia inicial, sino también una prolongada vida útil de las carreteras donde se aplicará la mezcla asfáltica con PET, asegurando así una inversión sostenible en infraestructura vial. En relación con la incorporación del PET en la mezcla asfáltica, es fundamental considerar las conclusiones de la investigación de Lugeiyamu *et al.* (2021), que revelan una menor estabilidad en comparación con la mezcla asfáltica convencional al reemplazar hasta un 5% del cemento con PET.

Asimismo, se observó una deficiente adherencia entre el agregado grueso y el PET debido a la fusión del PET al entrar en contacto con los elementos pétreos calientes. A raíz de estos hallazgos, en esta investigación se decidió incluir el PET como un componente adicional en lugar de sustituir los materiales convencionales. Esta elección se fundamenta en que el PET cumple con los criterios de granulometría necesarios para su incorporación en la mezcla asfáltica, especialmente en el caso de una mezcla asfáltica en caliente de tipo MAC 2. Además, se estableció un límite para los porcentajes de adición de PET en el pavimento, que no superan el 5%, incluyendo valores del 1,5%, 3% y 4,5%. Este enfoque se implementó con el objetivo de asegurar la integridad y el rendimiento de la mezcla asfáltica resultante. En el estudio realizado por Zuluaga Gómez *et al.* (2021), se investigó la inclusión de PET triturado en la producción de mezcla asfáltica en caliente, utilizando agregados suministrados por la cantera Chero. Estos agregados fueron sometidos a una serie de ensayos para garantizar que cumplieran con los requisitos específicos establecidos por el EG 2013 para carreteras, asegurando así su idoneidad para formar parte de la mezcla asfáltica y obtener resultados óptimos.

De manera similar, en esta investigación, los agregados extraídos de la cantera Chero debieron cumplir estrictos estándares conforme a las especificaciones técnicas para carreteras definidas por el EG 2013. Esto implicó asegurarse de que la absorción de agua de los agregados no superara el 1% y que su resistencia a la abrasión, medida mediante el ensayo de los ángeles, se mantuviera por debajo del 40%. Estos rigurosos procedimientos y criterios aseguraron la calidad y aptitud de los agregados tanto en esta investigación como en la de Zuluaga Gómez *et al.* Finalmente, en el estudio de Mardones Parra *et al.* (2019), se centraron en la evaluación de la incorporación de PET triturado en la mezcla asfáltica en caliente a través de un proceso en seco. Sus resultados indicaron que al incluir PET triturado en partículas que pasen la malla N° 10 en una proporción del 1,50% de PET y 5,40% de cemento asfáltico, se obtuvo un valor de estabilidad de 18.91 KN, superando significativamente la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional, que era de 12,73 KN.

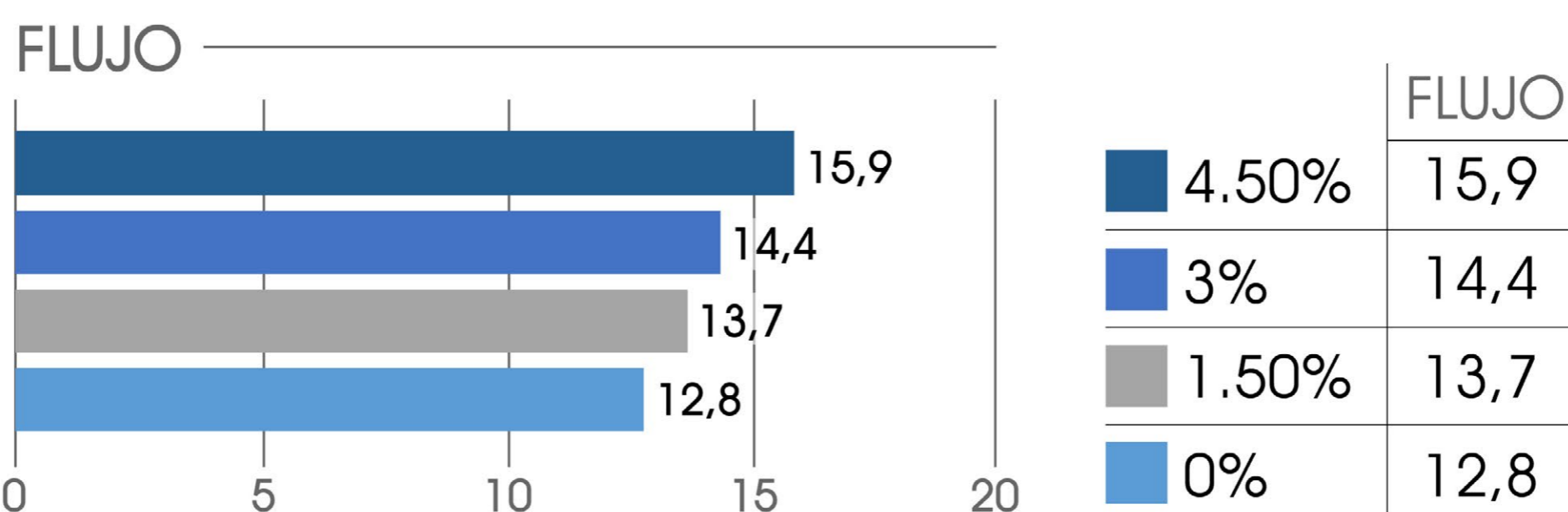


FIGURA 3
Flujo de la muestra adicionada y sin adicionar PET

En el contexto del flujo Marshall, como se muestra en la figura 4, se enfatiza un parámetro de vital importancia para la evaluación de la capacidad de resistencia del asfalto a las deformaciones y su capacidad de recuperación bajo condiciones de altas temperaturas, lo cual desempeña un papel crucial en la preservación de la durabilidad y el rendimiento de las superficies de carreteras y pavimentos. En este sentido, se destaca la contribución de Del Barco *et al.* (2020), quienes subrayan que la incorporación del 2% de PET triturado en la mezcla bituminosa resulta en un aumento del flujo, un efecto que puede tener consecuencias negativas, ya que un flujo elevado puede debilitar la estructura del pavimento.

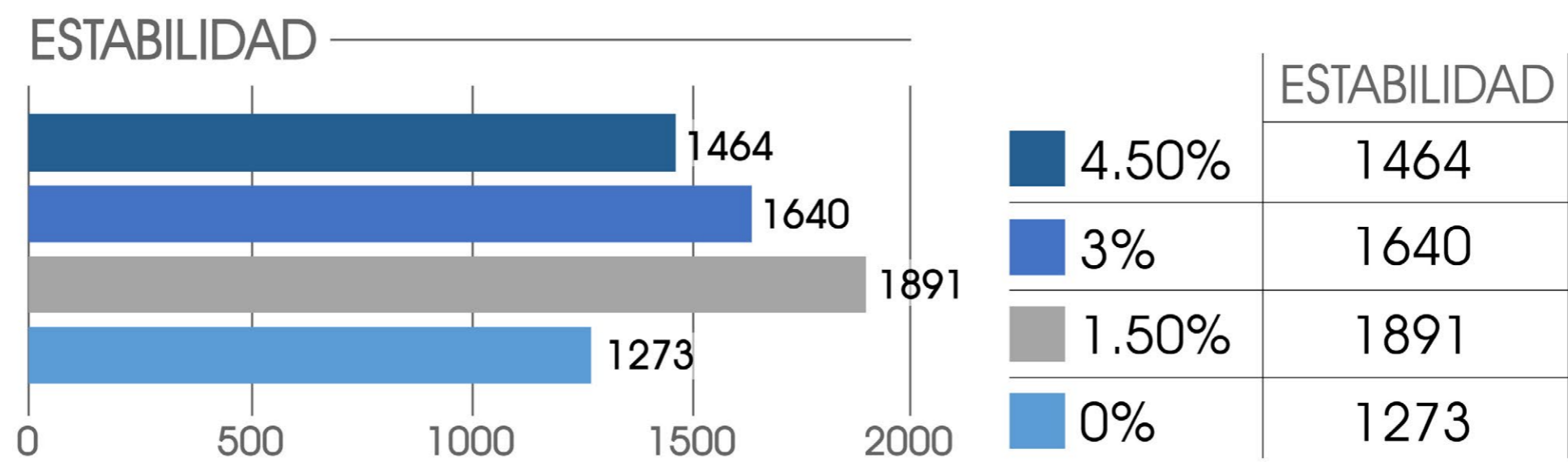


FIGURA 4
Estabilidad de la muestra adicionada y sin adicionar PET

Las investigaciones de Cueva Yopla y Díaz Quiliche (2023) confirman esta relación. A medida que se incrementa la proporción de PET en la mezcla bituminosa, se detecta un aumento en la formación de vacíos, fenómeno atribuible a las partículas de PET, que, debido a su tamaño no microscópico, generan separación entre los agregados, propiciando la segregación y la creación de un mayor número de vacíos. La investigación, coincide con estos hallazgos, ya que la inclusión creciente de plástico en las briquetas resulta en un incremento del porcentaje de vacíos: alcanzamos 4,3% con un 1,5% de PET, 4,8% con un 3%, y 5,5% con un 4,5%.

CONCLUSIONES

El agregado grueso proveniente de la cantera Pancho Medina, así como el agregado fino de la cantera La Carbonera, cumplieron con todas las especificaciones establecidas por el MTC para participar en la mezcla asfáltica en caliente tipo 2, destinada a tránsito medio. En cuanto al diseño de la mezcla asfáltica estándar y el diseño de la mezcla asfáltica adicionada, utilizando el método Marshall, se observó que ambas presentan una dosificación del 40% de grava, 60% de arena y un porcentaje óptimo de asfalto PEN 60/70 del 5,40%.

La estabilidad de la muestra patrón, determinada mediante el método Marshall, presentó un valor promedio de 1273 kg. Sin embargo, al adicionar 1,5%, 3% y 4,5% de PET reciclado, se registraron aumentos de 618 kg, 367 kg y 191 kg, respectivamente. Por otro lado, el flujo de la muestra patrón también evaluado por el método Marshall mostró un valor promedio de 12,8 mm; al incorporar 1,5%, 3% y 4,5%, los incrementos fueron de 0,9 mm, 1,6 mm y 3,1 mm, respectivamente. En relación al porcentaje de vacíos de la muestra patrón, este presentó un valor promedio de 4,2%; al adicionar 1,5%, 3% y 4,5%, se obtuvieron aumentos de 0,4%, 0,7% y 1,5%, respectivamente. El análisis inferencial realizado mediante el ANOVA demuestra que la incorporación de PET reciclado en proporciones del 1,5%, 3% y 4,5% mejora significativamente las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica para un pavimento ecológico; no obstante, al adicionar 3%, los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por el MTC.

REFERENCIAS

- Álvarez-Risco, A. (2020) *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima. Disponible en: <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/10818/restricted-resource?bitstreamId=b8261dda-583c-467d-947b-76c88ee9a029>
- Asmael, N. M., & Waheed, M. Q. (2018) "Investigation of Using Polymers to Improve Asphalt Pavement Performance", *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 39(1), pp. 38–48. Disponible en: https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/3768
- Bansal, S., Misra, A. K., & Bajpai, P. (2017) "Evaluation of modified bituminous concrete mix developed using rubber and plastic waste materials", *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), pp. 442-448. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.07.009>

- Ben Zair, M.M., Jakarni, F.M., Muniandy, R., Hassim, S., Ansari, A.H. (2022) "A brief review: application of recycled polyethylene terephthalate as a modifier for asphalt binder", *Proceeding oh 12th International Conference on Road and Airfield Pavement Technology*. Moratuwa, Sri Lanka, 2021. Springer, pp. 739–756. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87379-0_56
- Botero Jaramillo, E., Muñoz, L., Ossa, A., & Romo, M. P. (2014) "Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas", *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (70), pp. 207–219. Disponible en: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.15520>
- Bressi, S., Fiorentini, N., Huang, J., Losa, M. (2019) "Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics", *Coatings*, 9(6), 384. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/coatings9060384>
- Chavarri, C., & Rubio, M. (2020) *Efecto del caucho reciclado en la resistencia a compresión en adoquines de concreto diseñados para pavimentos articulados*. Tesis de grado. Trujillo: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/53492>
- Chávez Chávez, E. E., & Zavala Cardozo, B. I. (2022) *Estudio del comportamiento de la mezcla asfáltica para pavimentos flexibles con adición de caucho reciclado y polietileno, Lima 2022*. Tesis de grado. Perú: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97160>
- Chávez-Romero, S., Aulestia-Viscarra, S., Cando, W., Bucheli, J. y Fernández, L. (2019) "Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente modificada por vía seca con tapas plásticas de polipropileno", *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 42(3), pp. 126-134. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/27422>
- Chu, J., et al. (2021) "Dynamic flows of polyethylene terephthalate (PET) plastic in China", *Waste Management (Elmsford)*, 124, pp. 273–282. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.035>
- Condori-Ojeda, P. (2020) *Universo, población y muestra*. Curso Taller. Disponible en: <https://www.aacademica.org/cporfirio/18.pdf>
- Cueva Yopla, E., & Díaz Quiliche, S. (2022) *Influencia del pavimento flexible en la transitabilidad del tramo Mirador Bellavista–San Vicente Alto, Cajamarca, 2022*. Tesis de grado. Perú: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/116499>
- Diego Martínez, J. y Temple Bonilla, E. (2023) *Influencia de un pavimento ecológico con PET reciclado en el sector de 3 de octubre, Nuevo Chimbote, 2023*. Tesis de grado. Perú: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136995>
- Del Barco, A., et al. (2020) "Optimisation of liquid rubber modified bitumen for road pavements and roofing applications", *Construction and Building Materials*, 249, 118630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118630>
- Eriksen, M., et al. (2019) "Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: influence of material properties and product design for plastic recycling", *Waste Management*, 96, pp. 75-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.005>
- Flores, J. (2018) *Comportamiento mecánico de mezcla asfáltica incorporando caucho por vía húmeda, avenida Perú, Callao, 2018*. Tesis de grado. Perú: Universidad César Vallejo. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25348>
- Ghiasi, Z., Faghihi, F., & Shayegani-Akmal, A. (2022) "Artificial Neural Network Approach for Prediction of Leakage Current of polymeric insulator under Non-Uniform Fan-shaped Contamination", *Electric Power Systems Research*, 209 (13), 107920. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.107920>
- Lugeiyamu, L., et al. (2021) "Utilization of waste polyethylene terephthalate (PET) as partial replacement of bitumen in stone mastic asphalt", *Construction and Building Materials*, 309, pp. 3250-3260. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125176>

- Mahdi, T., Senadheera, S., & Ghebrab, T. (2022) "Effect of PET Size, Content and Mixing Process on the Rheological Characteristics of Flexible Pavement", *Materials*, 15(10), 3565. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma15103565>
- Mardones Parra, L., Sánchez Alonso, E., Calabi Floody, A., & Valdés Vidal, G. (2019) "Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la incorporación de fibras sintéticas de aramida y polipropileno", *Infraestructura Vial*, 20(36), 10. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/iv.v20i36.37729>
- Mejía, C., & Sierra, C. (2017) *Estado del arte de mezcla asfáltica modificadas en los últimos 10 años: caso de estudios Universidad de Bogotá D.C.* Tesis de grado. Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Disponible en: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003837.pdf>
- Vila, R., & Jaramillo, J. (2018) "Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto", *Revista lasallista de investigación*, 15(2), pp. 315–326. Disponible en: <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/1837>
- Zuluaga Gómez, A. E., Gómez Cruz, N., & Correa Arroyave, Á. (2021) "Desarrollo de un asfalto altamente modificado con polímero SBS a partir de un asfalto base convencional de la refinería Ecopetrol Barrancabermeja 60-70 variando la concentración de polímero", *BISTUA Revista De La Facultad De Ciencias Básicas*, 19(2), pp. 34–39. Disponible en: <https://doi.org/10.24054/bistua.v19i2.1067>