

COMPARACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA ENTRE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL Y UN PAVIMENTO CON INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO EN LA CAPA DE RODADURA

TECHNICAL – ECONOMIC COMPARISON BETWEEN A CONVENTIONAL PAVEMENT AND A PAVEMENT WITH INCORPORATION OF RECYCLED PET IN THE RACE LAYER

Denis Eduard Paredes Cuba, Ing.¹; Nelson Joel Paredes Cuba, Ing.¹; Manuel Rafael Urteaga Toro, Ing.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00029984@upn.edu.pe, N00029985@upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. manuel.urteaga@upn.pe

Resumen– En el presente artículo se tuvo como objetivo determinar la variación porcentual de las propiedades físico-mecánicas, y económicas de la elaboración de adoquines, concreto y mezclas asfálticas en caliente, con incorporación de PET reciclado para la capa de rodadura de los pavimentos, mediante una revisión sistemática de diversas investigaciones seleccionadas. Se realizó la revisión documental de diversas investigaciones entre tesis y artículos de investigación referentes al tema de estudio; a través de fichas de resumen y fichas técnicas de recolección de datos, y analizadas mediante tablas y gráficos con el software Microsoft Excel 2016. Los resultados de la comparación de las propiedades físico-mecánicas, evidencian que existen porcentajes de variaciones positivas y negativas y también del aspecto económico, pero en pequeños porcentajes. Se concluyó que la incorporación de PET reciclado en la capa de rodadura de los pavimentos es recomendable, porque los porcentajes de variación de las propiedades físico-mecánicas, y a su vez económicas son favorables, determinando a su vez los porcentajes óptimos de incorporación de PET reciclado.

Palabras clave: Pavimento convencional, pavimento modificado, plástico reciclado PET.

Abstract– The objective of this article was to determine the percentage variation of the physical-mechanical and economic properties of the production of paving stones, concrete and hot asphalt mixtures, with the incorporation of recycled PET for the wearing course of the pavements, through a systematic review of various selected investigations. The documentary review of various investigations between theses and research articles referring to the subject of study was carried out; through summary sheets and technical data collection sheets, and analyzed through tables and graphs with Microsoft Excel 2016 software. The results of the comparison of the physical-mechanical properties show that there are percentages of positive and negative variations and also of the economic aspect, but in small percentages. It was concluded that the incorporation of recycled PET in the wearing course of the pavements is recommended, because the percentages of variation of the physical-mechanical properties, and at the same time economic, are favorable, determining in turn the optimal percentages of incorporation of recycled PET.

Keywords: Conventional pavement, modified pavement, recycled PET plastic.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.56>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, para un buen desarrollo y crecimiento económico de un país, es primordial contar con una red vial en óptimas condiciones debido a que es el medio que posibilita el desarrollo del transporte, la comunicación y actividades comerciales para el intercambio de bienes y servicios entre distintos pueblos.

Latinoamérica es una región que presenta un serio problema respecto a la infraestructura en vías de comunicación y lo cual refleja una desventaja muy considerable en competitividad en relación con las demás regiones. En países con un idóneo desarrollo en transporte los costos de traslado son menores, mientras que en la región los caminos con gran cantidad de tramos deteriorados elevan los costos de traslado, por lo que es poco probable que los ciudadanos puedan afrontar una situación de mejora económica y reducción de los índices de pobreza [1].

Durante los últimos años, el crecimiento del número de vehículos y particularmente de vehículos pesados se ha elevado notoriamente, lo que ha causado muchos problemas y fallas que han generado una disminución considerable de la resistencia y vida útil de los pavimentos y sumado a esto los malos diseños de los mismos, hacen que se originen muchos inconvenientes en el transporte y comercio [2].

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones [3], la red vial del sistema nacional de carreteras hasta el año 2019 está conformada por 168 953.857 km que comprende la red vial nacional, departamental y vecinal, de los cuales solo 28 769.635 km se encuentran pavimentados. No obstante, estos pavimentos notoriamente presentan muchos inconvenientes principalmente generados por la creciente demanda del tráfico en las vías, las variaciones de temperatura, las corrientes de agua, las precipitaciones y la capacidad portante del suelo que soporta la infraestructura vial, entre otros.

Asimismo, la falta de mantenimiento, sumada a otros factores como las condiciones climatológicas adversas de nuestro país, explican el deterioro de las distintas rutas a nivel nacional. Sin embargo, es evidente que muchas veces las intervenciones en rehabilitación de las vías son parciales o de muy baja calidad, tales el caso que, durante el lapso de un año,

de un total de vías rehabilitadas a nivel nacional en el año 2005, el 74.1% ya no se encuentra en buen estado. Por otra parte la importancia del mantenimiento de las obras de infraestructura vial muchas veces no es considerada en su real dimensión, y el deterioro de un camino no se hace aparente o visible hasta que se encuentre en un muy mal estado en donde un mantenimiento ya no es suficiente y se lo tendría que rehabilitar, lo cual implica un mayor costo que puede llegar a ser hasta ocho veces mayor en relación a lo que se hubiese gastado si se realizaba el mantenimiento de la vía en el momento oportuno [4].

Ante ello, es necesario que durante la construcción de un pavimento, se empleen materiales que cumplan las exigencias a las que están solicitados dichos pavimentos, e incluso materiales alternativos para que al momento de entrar en funcionamiento cumpla con el periodo y los objetivos para el cual fue diseñado.

Asimismo, la contaminación causada por residuos sólidos y especialmente la que es originada por los envases de plástico es un aspecto que se debe tener consideración preponderante. Los envases de plástico representan aproximadamente la mitad de los desechos de plástico de todo el mundo y, según ha detallado la ONU, la capacidad del hombre para hacer frente a estos desechos de plásticos ya está sobrepasada debido a que solo se ha reciclado 8% de los 9 mil millones de toneladas de plástico que se ha producido en el mundo [5].

Desde los años 50, la producción de plástico ha superado la de cualquier otro material y la mayoría de los productos que se fabrican con este material solo se están diseñando para ser descartados después de un solo uso. América, Japón y la Unión Europea son los mayores productores de desechos plásticos per cápita y sólo un 9% de los nueve millones de toneladas de plástico que se han producido en el mundo ha sido reciclado; por lo que, si esta tendencia continúa, se estima que para el año 2050 tendremos cerca de 12 000 millones de toneladas de desechos plásticos en los basureros y en la naturaleza [6].

Albani Ruiz de la ONG Ciudad Saludable (como se citó en Hernández, 2016) afirma que, en el Perú cada año se producen unas 3 500 millones botellas de plástico, de las cuales son recicladas menos del 50%. Este porcentaje de reciclaje es un grave problema, porque una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero es la contaminación causada por el uso de materiales descartables. Existen 18 millones de toneladas de plástico que flotan solo en el Océano Pacífico, sin embargo, podemos hacer muchas cosas para mitigar este problema como el reciclaje del material plástico PET que inunda el mercado. El PET es un material derivado del petróleo y ahora la principal materia prima de botellas de plástico, las cuales demoran entre 100 y 700 años en degradarse de acuerdo con el espesor del plástico y son más usadas actualmente por la industria de bebidas no alcohólicas por su transparencia y moldeabilidad, que nos permiten reciclarlas varias veces [7].

En la tesis denominada: “Propiedades físico – mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín – 2017” se tuvo como objetivo determinar el comportamiento de los adoquines elaborados con plástico reciclado respecto a sus propiedades físico – mecánicas para pavimento peatonal, y estimar la influencia del plástico reciclado PET en la

trabajabilidad, consistencia del mortero y permeabilidad del adoquín, se realizó ensayos de absorción de agua, ensayo de rotura, ensayo de compresión y ensayo de viga a los adoquines modificados y tradicionales encontrando como resultados que el adoquín modificado con 3%, 5% y 8% reduce su peso unitario en 11%, 16% y 17% respectivamente; a mayor porcentaje de plástico reciclado, el módulo de rotura y la deformación incrementan pero la resistencia a la compresión y la manejabilidad de la mezcla disminuyen; y que este adoquín modificado es ideal para zonas donde se requiera elementos de bajo porcentaje de absorción; llegando a la conclusión de que la aplicación o incorporación de plástico reciclado mejora las propiedades físico-mecánicas de los adoquines en un 9.465% [8].

Asimismo [9] en la investigación “Implementación de un material compuesto mediante plástico reciclado PET para la elaboración de un adoquín”, tuvieron como finalidad emplear el material reciclado plástico PET para la elaboración de un adoquín compuesto de uso vehicular y peatonal; realizaron el diseño de la mezcla, determinaron las propiedades mecánicas del PET que se usó como reemplazo del agregado fino en proporciones de 5%, 10%, 15%, 20% y 30% y posteriormente realizaron los ensayos al mortero, ensayos de absorción de agua, ensayo de resistencia a la flexotracción, ensayo de resistencia al desgaste y ensayo de resistencia a la compresión, encontrando como resultados que los adoquines fabricados presentan un buen comportamiento a la absorción de agua, superan los valores mínimos de la resistencia a la flexotracción, y que los adoquines ensayados con distintos porcentajes de plástico cumplen con la resistencia de diseño a compresión de 28 Mpa.

De igual manera [10], en el artículo de investigación denominado “Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto”, tuvieron como finalidad evaluar la resistencia a la compresión y la manejabilidad del concreto elaborado con un reemplazo parcial del agregado fino por polietileno tereftalato (PET) reciclado; realizaron nueve mezclas de concreto, de las cuales una corresponde a una mezcla sin reemplazo de arena por PET y las ocho mezclas restantes, las elaboraron reemplazando parcialmente el agregado fino en porcentajes del 5%, 10%, 15% y 20% con respecto al peso del agregado; obteniendo como resultados que al aumentar el porcentaje de arena reemplazada disminuye la resistencia a la compresión, sin embargo, la manejabilidad de la mezcla no se ve muy afectada debido a que la curva granulométrica de los agregados se conserva; llegando a la conclusión de que el porcentaje óptimo de reemplazo es del 15% debido a que la manejabilidad es apropiada y la resistencia a la compresión disminuye muy poco.

Del mismo modo [11] en la tesis: “Resistencia y agrietamiento por contracción del concreto para pavimentos rígidos con incorporación de fibras PET”, tuvieron como fin determinar en cuanto mejora la mejora la resistencia a la flexión y compresión, y cuanto reduce el agrietamiento por contracción del concreto elaborado con la incorporación de fibras PET para pavimentos rígidos; para lo cual realizaron la fabricación de concretos incorporando 0%, 0.03%, 0.05% y 0.07% de fibras PET, y luego realizaron ensayos al concreto tanto en estado

fresco como en estado endurecido; llegando a la conclusión de que para producir concreto para pavimentos rígidos con una mayor resistencia a la flexión se debe incorporar 0.05% de fibras PET, y para mejorar la resistencia a la compresión y reducir el agrietamiento por contracción del concreto, se debe incorporar 0.07% de fibras PET.

De la misma manera [12], en la investigación denominada “Evaluación de la influencia de las fibras de polietileno en el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco – 2017”, tuvo como objetivo determinar el porcentaje óptimo y la influencia de las fibras de polietileno a manera de adiciones en las propiedades mecánicas del concreto y a su vez en su costo económico; realizó la observación directa, análisis de documentos, ensayos de probetas cilíndricas y viguetas con y sin adición de fibras de polietileno de botellas recicladas en proporciones de 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 kg/m³ de concreto, encontrando como resultados que se logra aumentar el Mr en un 114% en relación al concreto patrón, la dosis óptima de fibra de polietileno para dotar de mayor capacidad a flexión en relación al concreto patrón es de 1.50 kg/m³, y reduce 0.5 pulgadas de espesor en la capa de pavimento rígido generando un ahorro de S/. 129,452.25 en una vía de 209.20 metros de longitud y 9.52 metros de ancho al usar un concreto con fibras.

Por otra parte [2], en su tesis tuvo como objeto diseñar una mezcla asfáltica modificada más duradera, de mejor performance y desempeño frente a la convencional mediante la incorporación de fibras PET recicladas de botellas de plástico; realizó ensayos a los agregados pétreos, ligante asfáltico, fibras PET, mezcla asfáltica convencional y modificada con fibras PET, pruebas de desempeño de rueda cargada de Hamburgo y un análisis de precio unitario comparativo; encontrando como resultados que la influencia de la sustitución parcial de agregado fino en la estabilidad Marshall disminuye un 9.6%, el flujo se incrementa en 6.52%, la resistencia a la susceptibilidad a la deformación permanente incrementa en 24% y el costo unitario por m³ es menor, de la mezcla asfáltica modificada frente a la convencional.

De igual modo [13] en la tesis denominada: “Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017” tuvo como fin determinar el porcentaje de mejora de las características físicas y estructurales de la mezcla asfáltica modificada con plástico en comparación a la tradicional y su vez compararlas económicamente; realizó un análisis comparativo entre ambos tipos de mezclas asfálticas a través de ensayos realizados a los agregados y a los dos tipos de mezclas asfálticas en el laboratorio del MTC y un análisis de los beneficios económicos que origina la adición de plástico reciclado, obteniendo como resultados que el porcentaje óptimo de plástico reciclado PET es agregando 1% al agregado fino, la resistencia a la deformación mejora en un 3.11%, la relación entre las deformaciones y la capacidad para soportar se incrementa en un 4.49%, el porcentaje de vacíos se reduce en un 2.5%, la densidad de la mezcla se reduce en un 1.7%, y genera un ahorro económico de 2.63% y una prolongación del 25% en la vida útil de la carpeta asfáltica.

De la misma forma [14], en la tesis “Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo”, tuvo como objetivo diseñar una mezcla semidensa tipo MSC-19, a partir de la incorporación de PET reciclado como agregado constitutivo, evaluando el efecto sobre las propiedades mecánicas y el desempeño de la mezcla asfáltica; realizó la caracterización de los materiales constitutivos, diseño y ensayo Marshall de la mezcla asfáltica patrón MSC-19 y de la mezcla asfáltica MSC-19 modificada con la incorporación de PET triturado, y finalmente el dimensionamiento de la estructura de un pavimento; llegando a la conclusión de que el PET triturado incide positivamente en el desempeño de la mezcla asfáltica, y así mismo se puede llegar a incorporar 73 000 botellas de PET por cada kilómetro de vía construida.

Según lo antes mencionado, el plástico reciclado PET puede ser usado como un material alternativo para la elaboración de adoquines, concreto y mezclas asfálticas en caliente para la capa de rodadura en la construcción de pavimentos.

Cajamarca, es una ciudad que presenta serios problemas respecto a la infraestructura vial debido al deterioro constante de la capa de rodadura de los pavimentos. Asimismo, se ve afectada por la contaminación originada por envases de plástico; por lo que es necesario revisar diversas investigaciones y realizar una comparación técnica-económica de los datos y/o resultados de las investigaciones relacionadas a la incorporación de PET reciclado en la capa de rodadura de los pavimentos, y obtener los resultados más favorables de incorporar el plástico reciclado PET para la elaboración de adoquines, concreto y mezclas asfálticas en caliente [33].

Pavimento

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por el peso de los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito, generalmente conformada por las siguientes capas: subbase, base y capa de rodadura [15].

Tipos de Pavimento

El pavimento tiene diferentes estructuras o diseños que han sido creados con la finalidad de brindar la mejor experiencia al usuario, adaptarse al ambiente, responder a las solicitudes de cargas a los que está expuesto o para disminuir los gastos, por lo que en cualquiera que fuera el caso [33].

Principalmente existen tres tipos de pavimentos:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento semirrígido

Comportamiento de los pavimentos

Los pavimentos son diseñados, construidos y mantenidos con la finalidad de lograr un comportamiento funcional y estructural óptimo durante su ciclo de vida. Por lo que una adecuada construcción del pavimento es un parámetro que impacta considerablemente en la durabilidad de este. Asimismo

en la actualidad el clima ya ha sido incorporado en las metodologías de diseño [16].

Materiales para la construcción de pavimentos

- **Cemento Portland.**- El cemento Portland es un material producto de la fusión química a altas temperaturas de materiales calcáreos y arcillosos, este nuevo producto reacciona cuando hace contacto con el agua endureciéndose con el tiempo hasta convertirse en una piedra artificial [18].
- **Asfalto.**- Es un material aglomerante de color que varía de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza como tales o que se obtienen en la destilación del petróleo. Es el asfalto, uno de los materiales de construcción más antiguos utilizados por el hombre, encuentra cada día nuevas aplicaciones [19].
- **Agregados.**- Se entiende por agregados a una colección de partículas de diversos tamaños que se pueden encontrar en la naturaleza, ya sea en forma de finos, arenas y gravas o como resultado de la trituración de rocas [20].
- **Adoquín.**- El adoquín de concreto es un elemento compacto de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado, estos pueden ser bicapa o monocapa. [17].
- **Agua.**- El agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr la formación de gel y permitir que el conjunto de la masa adquiera las propiedades y características deseadas [18].

Plásticos

Los plásticos son materiales compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, convirtiéndolo en un material fácil de moldear y teniendo la ventaja de modificar su forma a partir de cierta compresión y temperatura [20].

- **Polietileno Tereftalato (PET).**- Es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. Siendo un polímero, las moléculas de tereftalato del polietileno consisten en cadenas largas de unidades repetidas que sólo contienen el carbono, oxígeno e hidrógeno, todos elementos orgánicos [21].
 - ❖ **Reciclaje del PET:** Es el proceso de recuperación y acopio de desechos de plásticos con la finalidad de su reutilización como materia prima para poder elaborar diferentes nuevos productos [13].

Por todo lo antes mencionado, es necesario encontrar la forma de cómo reducir la contaminación ambiental generada por la mala disposición final del PET y a su vez buscar mejorar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, adoquines de concreto y concreto en general para la construcción de pavimentos flexibles, semirrígidos y/o articulados y rígidos, respectivamente, a través de una investigación descriptiva en donde se reúna los resultados de

las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional, que tengan como finalidad el uso de plástico reciclado PET.

I. METODOLOGIA

De acuerdo [33] a la tesis: “Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020”, que es la investigación base para la redacción del presente artículo de investigación, la metodología empleada es la que se detalla a continuación:

Tipo de investigación: Es del tipo descriptivo. En este tipo de Investigación los estudios se sitúan sobre una base de conocimientos más sólidos que los exploratorios, en donde el problema científico ha alcanzado cierto nivel de claridad [22]. Asimismo, la investigación presenta un enfoque cualitativo. Una investigación con un enfoque cualitativo es conocida también como investigación naturalista, fenomenológica, interpretativa y que involucran la recolección de datos a través de descripciones, revisión de documentos, etc. [23].

Diseño de Investigación: La investigación presenta un diseño no experimental del tipo longitudinal debido a son estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos [24].

A. Población

La población está dada por todas las investigaciones que tengan como objetivo la incorporación de plástico reciclado PET como un nuevo material alternativo en la elaboración de los adoquines, concreto y mezclas asfálticas en caliente [33].

B. Muestra

La muestra ha sido elegida a criterio y conveniencia de los investigadores, por lo que Otzen y Manterola (2017) [25], mencionan que una muestra puede ser obtenida de dos tipos: probabilística y no probabilística, y que, en las técnicas de muestreo de tipo no probabilísticas, la selección de los objetos de estudio dependerá de las características o criterios que el investigador considere pertinente.

Por lo que para determinar a los elementos de la muestra se tuvo en cuenta los siguientes criterios de inclusión de investigaciones:

- Tesis, proyectos y artículos de investigación e informes que se encuentren en los repositorios institucionales de las diferentes universidades a nivel nacional e internacional encontradas, mediante la búsqueda a través de las siguientes palabras claves: “adoquín con plástico reciclado”, “concreto con PET reciclado”, “PET concreto” y “mezclas asfálticas con polietileno reciclado”.
- Tesis, proyectos y artículos de investigación e informes que cuentan con información sobre las dos variables del tema de investigación.
- Investigaciones que fueron publicados en los últimos 10 años.
- Investigaciones que se encuentran redactados en español.

Aplicando los criterios de inclusión se logró seleccionar 16 investigaciones que se muestran en la tabla 1 y 2, y que servirán de objetos de estudio para la presente investigación:

Tabla 1
Muestra de Investigaciones – Tesis

Nº	TÍTULO	AUTOR (ES)	PAIS Y AÑO DE PUBLICACIÓN
1	Análisis de las características físicas-mecánicas del adoquín con polietileno tereftalato reciclado y adoquín convencional tipo I	Misael Fernández García	Perú, 2019
2	Propiedades físico - mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín - 2017	Yoisi Meza Domínguez	Perú, 2018
3	Implementación de un material compuesto mediante plástico reciclado (PET) para la elaboración de un adoquín	Nelson Jahir Arenas Pico, Gustavo Adolfo Gómez Cardenas	Colombia, 2015
4	Resistencia y agrietamiento por contracción del concreto para pavimentos rígidos con incorporación de fibras PET	Pedro Jonathan Esquivel Delgado, Marian Gianella Tichahuanca Mendoza	Perú, 2019
5	Estudio de resistencia a la compresión del concreto $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con la adición de plástico reciclado (PET), en la ciudad de Tarapoto, 2018	Jean Richard Pinedo Pérez	Perú, 2019
6	Evaluación de la influencia de las fibras de polietileno en el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco - 2017	Josué David Pablo Luis	Perú, 2018
7	Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote	Michael Anthony Lécator Lafitte, Edson Jesús Villareal Braggán	Perú, 2017
8	Efecto de tres niveles de PET reciclado como reemplazo de agregado fino en la resistencia a compresión axial del concreto convencional $f_c 210 \text{ kg/cm}^2$	Julio Ulises Cholan De la Cruz	Perú, 2016
9	Elaboración de PET-Concreto, buscando mejorar sus propiedades mecánicas de tensión y flexión	Armando Palacios Santillán	México, 2014
10	Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018	Jorge Edison Corbacho Chipana	Perú, 2019
11	Diseño de carpeta asfáltica aplicando gránulos de plástico reciclado para mejorar la transitabilidad del Jr. San Martín, distrito de Tabalosos-2018	Pedro Ramírez Alvarado, Winsley Ocmán Tananta Salas	Perú, 2019
12	Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico – Juliaca, 2018	Alex Mauro Luque León	Perú, 2019
13	Evaluación del desempeño del homigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden	Valeria Stephania Marcillo Piña	Ecuador, 2018
14	Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo	Andrés Berrio Alzate	Colombia, 2017
15	Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017.	Deyvis Fausto Silvestre Velasquez	Perú, 2017

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

Tabla 2
Muestra de Investigaciones – Artículo de Investigación

Nº	TÍTULO	AUTORES	PAIS Y AÑO DE PUBLICACIÓN
1	Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto	Ana Beatriz Acevedo Jaramillo, Juan Esteban Posada Franco	Colombia, 2019

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

En las tabla 1 y 2 mostradas, se refleja que solo se han elegido a aquellas investigaciones que cumplen con los criterios de inclusión antes mencionados.

C. Procedimiento

La realización de la presente investigación está estructurada en tres etapas:

- **Investigación bibliográfica.** - La investigación bibliográfica inició con la búsqueda de investigaciones en repositorios institucionales de las universidades nacionales y privadas licenciadas del ámbito nacional e internacional; bases de datos científicas indexadas y otras fuentes, mediante las palabras claves: “adoquín con plástico reciclado”, “concreto con PET reciclado”, “PET concreto” y “mezclas asfálticas con polietileno reciclado”, obteniendo 35 investigaciones. Luego se aplicaron los criterios de inclusión mencionados en el proceso de selección de la muestra; logrando seleccionar un total de 16 investigaciones, las cuales vienen a ser la muestra [33].
- **Recolección de datos.**- En esta etapa se realizó la recolección de datos de las 16 investigaciones, a través de la aplicación de fichas de resumen y fichas técnicas de recolección de datos [33].
- **Análisis de datos.**- En esta tercera etapa se realizó el análisis de datos a través de un análisis estadístico descriptivo mediante tablas y gráficos en el software Microsoft Excel 2016 de los datos extraídos de la muestra agrupándoles en pavimento flexible, pavimento rígido y pavimento articulado para determinar el porcentaje de variación de las propiedades físico-mecánicas de los adoquines, concreto y mezclas asfálticas en caliente. Asimismo, en esta etapa se realizó un análisis comparativo en el aspecto económico de acuerdo a los datos de las investigaciones mencionadas en la muestra [33].

II. RESULTADOS

A. PAVIMENTO ARTICULADO

- **Comparación Técnica:** La comparación técnica comprendió el análisis de las propiedades físico-mecánicas de los adoquines teniendo los siguientes resultados:

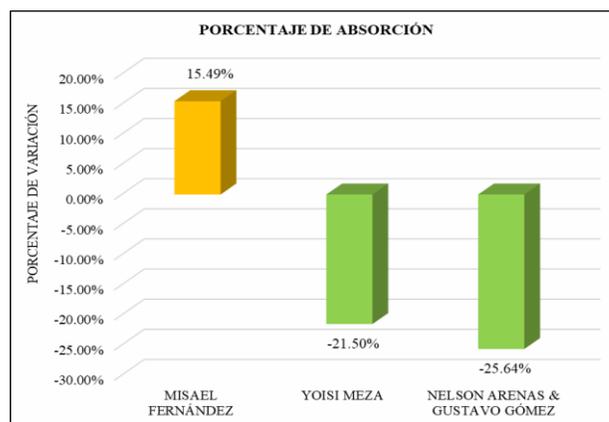


Figura 1. Porcentajes de variación de los porcentajes de absorción de los adoquines en base a las tres investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

Los resultados evidenciaron que el porcentaje de absorción de los adoquines se incrementó hasta en un 15.49% al incorporar 0.50% de PET a la mezcla de concreto para la fabricación de los adoquines modificados, frente a los adoquines convencionales [26]; y disminuyó el 21.50% [8] y 25.64% [9] al incorporar PET en porcentajes de 3% [8] y 20% [9] respectivamente.

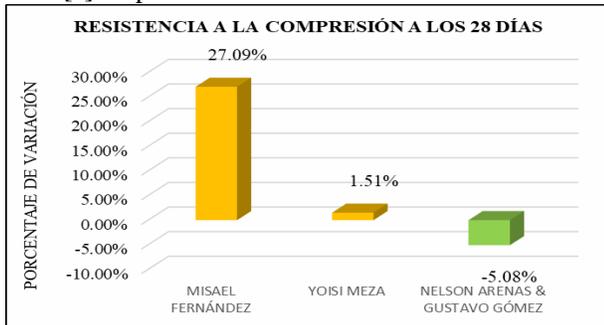


Figura 2. Porcentajes de variación de la resistencia a la compresión a los 28 días de los adoquines en base a tres investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

Los resultados demostraron que los adoquines modificados con la incorporación de plástico reciclado PET elaborados con 3% de PET, presentaron un incremento de 1.51% a la resistencia a la compresión de los adoquines a los 28 días [8], mientras que con 0.50% de PET, obtuvo un 27.09% de incremento a la resistencia a la compresión [26], y al incorporar 20% de PET reciclado la resistencia a la compresión disminuyó en 5.08% [29].

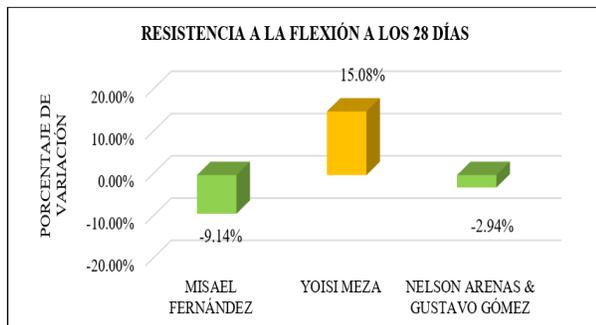


Figura 3. Porcentajes de variación de la resistencia a la flexión a los 28 días de los adoquines en base a las tres investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

Los resultados evidenciaron que al incorporar 0.5% de plástico reciclado PET para la fabricación de los adoquines modificados, la resistencia a la flexión disminuyó hasta en un 9.14% [26]; y que al incorporar plástico reciclado PET, en porcentajes de 3%, la resistencia a la flexión se incrementó hasta en 15.08% [8]; sin embargo, al incorporar 20% de PET, se obtuvo un decremento de 2.94% de la resistencia a la flexión, de los adoquines modificados frente a los convencionales [9].

- **Comparación Económica:** La comparación económica se realizó de acuerdo con la información recogida de la investigación de Fernández (2019) [26].

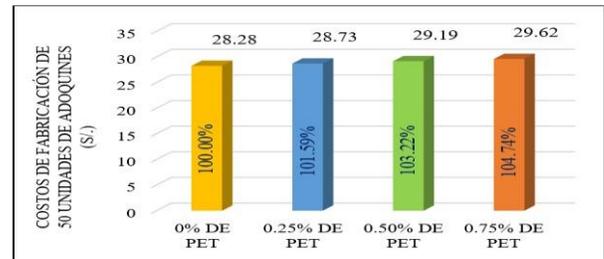


Figura 4. Costos de fabricación de adoquines convencionales y adoquines con 0.25%, 0.50% y 0.75% de PET reciclado.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

Los resultados [26], nos demostraron que el costo de fabricación para los adoquines modificados se incrementó debido a que el precio del PET se consideró a valores de mercado y no como un reciclado artesanal.

B. PAVIMENTO RÍGIDO

- **Comparación Técnica:** En la comparación técnica de las propiedades físico-mecánicas del concreto convencional frente al concreto modificado con PET se obtienen los siguientes resultados:

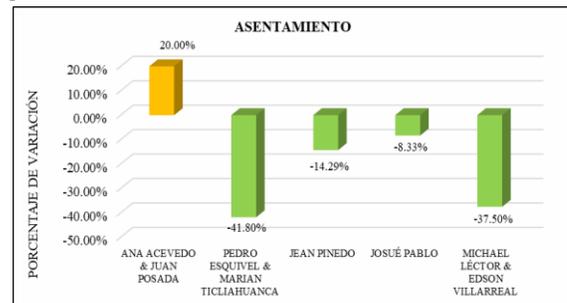


Figura 5. Porcentaje de variación del asentamiento del concreto en base a cinco investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El asentamiento del concreto presentó un aumento del 20% al incorporar 15% de plástico reciclado PET [10]; y en las demás incorporaciones de plástico reciclado PET de 0.07%, 5%, 1.50 kg por m³ de concreto y 5% se obtuvo que el asentamiento del concreto disminuyó en 41.80% [11], 14.29% [27], 8.33% [12] y 37.50% [28], respectivamente.

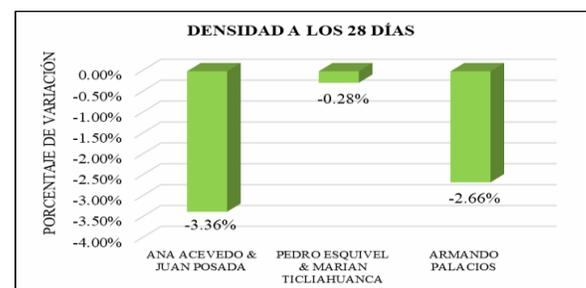


Figura 6. Porcentaje de variación de la densidad del concreto a los 28 días en base a tres investigaciones

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La densidad a los 28 días al incorporar plástico reciclado PET disminuyó desde 0.28% [11], hasta en un 3.36% para el caso del concreto modificado con la incorporación de plástico reciclado PET [10], frente al concreto sin modificar.

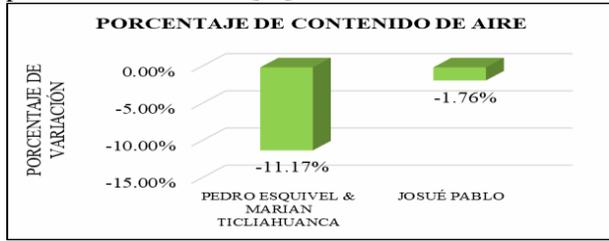


Figura 7. Porcentaje de variación del porcentaje de contenido de aire del concreto en base a dos investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El porcentaje de contenido de aire disminuyó hasta en un 11.17%, al incorporar plástico reciclado PET en la elaboración de las mezclas de concreto [11].

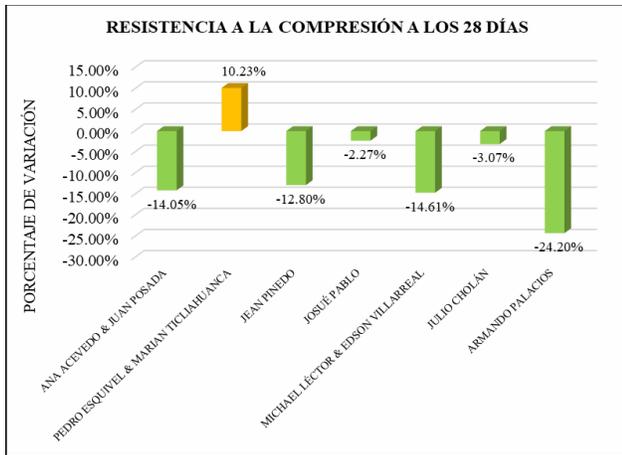


Figura 8. Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días en base a siete investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días se incrementó en un 10.23% al incorporar 0.07% de plástico reciclado PET [11] y en las demás incorporaciones de PET reciclado, la resistencia a la compresión del concreto disminuyó, hasta en un 24.20% [29].

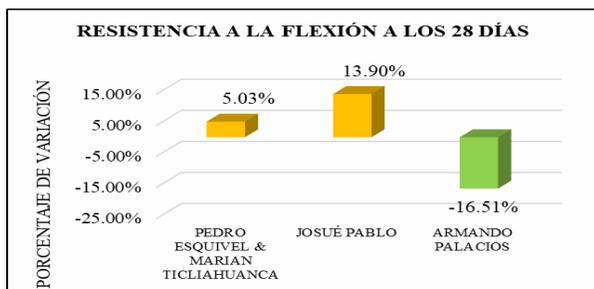


Figura 9. Porcentaje de variación de la resistencia a la flexión del concreto a los 28 días en base a tres investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La resistencia a la flexión del concreto a los 28 días disminuyó al incorporar 10% de plástico reciclado PET [29]; sin embargo, al incorporar porcentajes menores de plástico reciclado PET, aumentó 5.03% [11] y 13.90%.

- **Comparación Económica:** La comparación económica comprendió el análisis de las investigaciones teniendo como resultado lo siguiente:

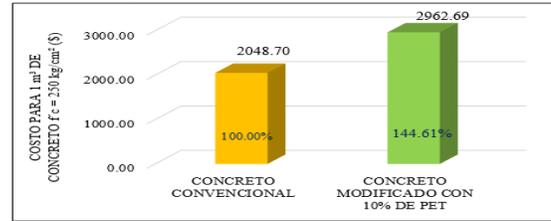


Figura 10. Costos para la elaboración de 1 m³ de concreto con un $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020. D. Paredes, N. Paredes y Urteaga (2021).

La comparación económica para la elaboración de 1 m³ de concreto de $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ nos demuestra que al incorporar 10% de plástico reciclado PET, implica que el costo se incrementa hasta en un 44.61% [29].

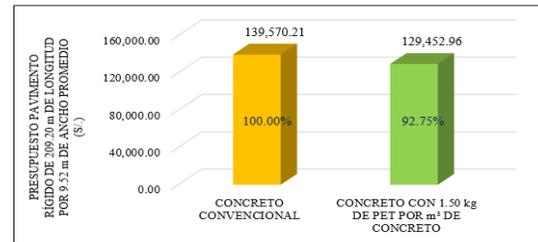


Figura 11. Presupuesto para la construcción de un pavimento rígido de 209.20 m de longitud por 9.52 m de ancho promedio.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La comparación económica del presupuesto para la construcción de un pavimento rígido (209.20 m de longitud x 9.52 m de ancho promedio), [12] nos demuestra que al incorporar 1.50 kg de PET por cada m³ de concreto, implica que el costo disminuye hasta en un 7.25%.

C. PAVIMENTO FLEXIBLE

- **Comparación Técnica:** En la comparación técnica de las propiedades físico-mecánicas, se obtienen los siguientes resultados:

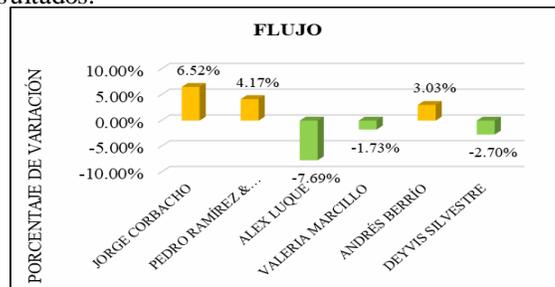


Figura 12. Porcentajes de variación del flujo de las mezclas asfálticas en base a seis investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El flujo de la mezcla asfáltica disminuyó en un mayor porcentaje de 7.69% al incorporar 6.70% de PET [30]; y al incorporar 3.00% y 1.00%, el flujo disminuyó en 1.73% [31] y 2.70% [13] respectivamente; y en las demás incorporaciones de PET, el valor del flujo de las mezclas asfálticas aumentó hasta en un 6.52%.

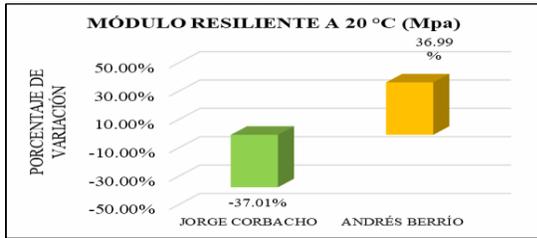


Figura 13. Porcentajes de variación del módulo resiliente a 20 °C de las mezclas asfálticas en base a dos investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El módulo resiliente de la mezcla asfáltica al incorporar 1.20% de PET reciclado [2], disminuyó en un 37.01%; sin embargo, al incorporar 1.00% de plástico reciclado PET, el módulo resiliente aumentó hasta en un 36.99% [14].

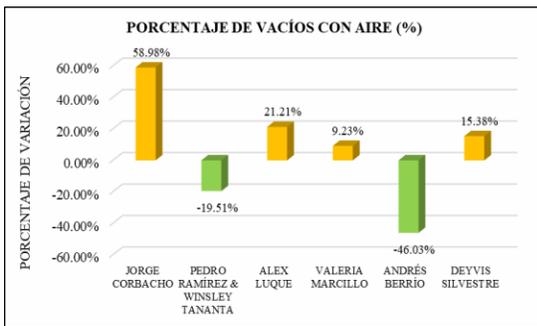


Figura 14. Porcentajes de variación del porcentaje de vacíos con aire de las mezclas asfálticas en base a seis investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El porcentaje de vacíos con aire de la mezcla asfáltica disminuyó en un mayor porcentaje (46.03%) al incorporar 1.00% de PET [14]; y al incorporar 30% de PET, el porcentaje de vacíos con aire disminuyó en 19.51% [32]; y en las demás incorporaciones de PET, el porcentaje aumentó hasta en un 59.02%.

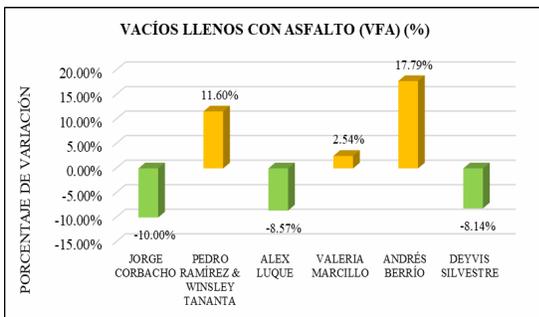


Figura 15. Porcentajes de variación de los vacíos llenos con asfalto de las mezclas asfálticas en base a seis investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El porcentaje de vacíos llenos con asfalto disminuyó hasta en un 10%, al incorporar porcentajes de PET [2]; y aumentó hasta en un 17.79%, al incorporar porcentajes de PET [14].

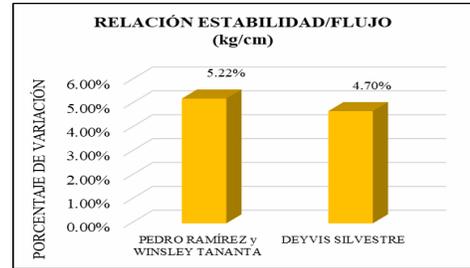


Figura 16. Porcentajes de variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en base a dos investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La relación estabilidad/flujo aumentó un 5.22% y 4.70%, al añadir porcentajes de 6.70% [32] y 1.00% [13] de plástico reciclado PET respectivamente.

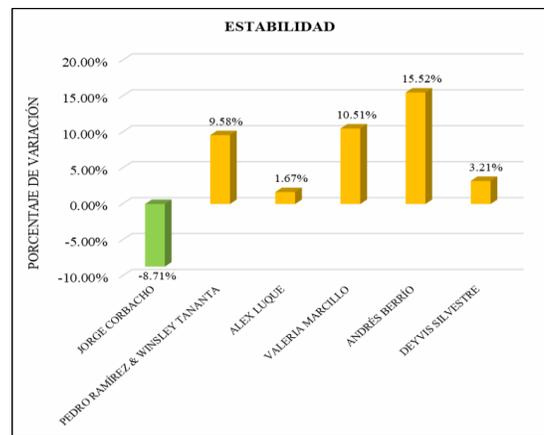


Figura 17. Porcentajes de variación de la estabilidad de las mezclas asfálticas en base a seis investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La estabilidad disminuyó hasta en un 8.71% al incorporar 1.20% de PET a las mezclas asfálticas [2]; sin embargo, en las demás incorporaciones de PET, la estabilidad aumentó hasta en un 108.94%.

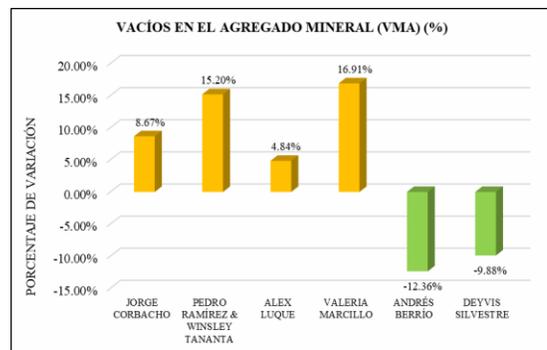


Figura 18. Porcentajes de variación de los vacíos en el agregado mineral de las mezclas asfálticas en base a seis investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral disminuyó hasta en un 12.36% al incorporar 1% de PET [14], y aumentó hasta en un 16.91% cuando se incorporó 1.20% [2], 30% [32], 6.70% [30] y 3.00% [31] de PET.

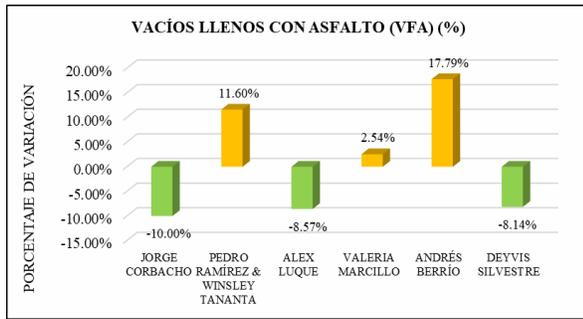


Figura 19. Porcentajes de variación de los vacíos llenos con asfalto de las mezclas asfálticas en base a seis investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

El porcentaje de vacíos llenos con asfalto disminuyó hasta en un 10%, al incorporar porcentajes de PET [2]; y aumentó hasta en un 17.79%, al incorporar porcentajes de PET [14].

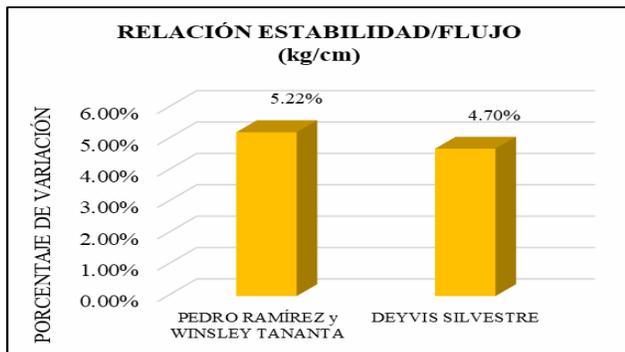


Figura 20. Porcentajes de variación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas asfálticas en base a dos investigaciones.

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La relación estabilidad/flujo aumentó un 5.22% y 4.70%, al añadir porcentajes de 6.70% [32] y 1.00% [13] de plástico reciclado PET respectivamente.

- **Comparación Económica:** En la comparación económica respecto a las mezclas asfálticas se obtuvo los siguientes resultados:

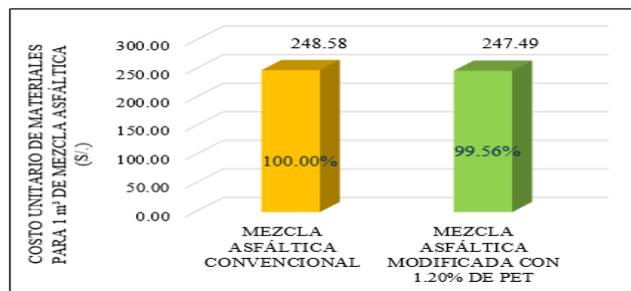


Figura 21. Costo unitario de 1 m³ de mezcla asfáltica según Corbacho (2019). Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La comparación económica del costo unitario de materiales para 1 m³ de mezcla asfáltica nos demostró que al incorporar 1.20% de PET a la mezcla asfáltica, el costo disminuyó hasta un 0.44% [2].

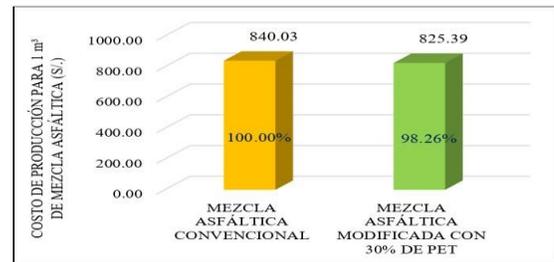


Figura 22. Costo de producción de 1 m³ de mezcla asfáltica según Ramírez y Tananta (2019).

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La comparación económica para la producción de 1 m³ de mezcla asfáltica, demostró que al incorporar 30% de PET a la mezcla asfáltica, el costo disminuyó hasta un 1.74% [32].

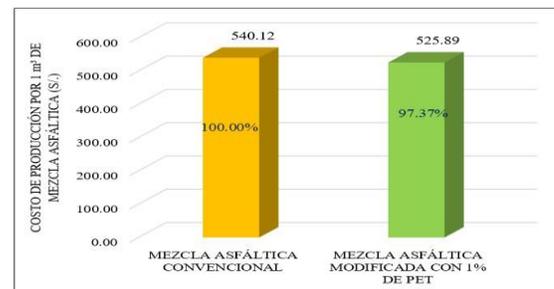


Figura 23. Costo de producción por 1 m³ de mezcla asfáltica según Silvestre (2017).

Fuente: Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 [33].

La comparación económica para la producción de 1 m³ de mezcla asfáltica de acuerdo con los datos obtenidos de la investigación realizada por Silvestre (2017), nos demuestra que al incorporar 1% de PET a la mezcla asfáltica, origina que el costo disminuya hasta un 2.63%.

III. CONCLUSIONES

- El porcentaje de variación en el aspecto económico y de las propiedades físico-mecánicas de los adoquines, concreto y mezclas asfálticas en caliente para la capa de rodadura de un pavimento convencional frente a un pavimento modificado con la incorporación de PET reciclado, fueron positivas para algunas propiedades y negativas para otras.
- En adoquines, el porcentaje de absorción varió de -35.90% a 15.49%, la resistencia a la compresión a los 28 días cambió de 1.51% a 27.09% y la resistencia a la flexión a los 28 días se modificó de -9.14% a 15.08%. El asentamiento del concreto fresco varió de -41.80% a 20.00%, la densidad a los 28 días cambió de -3.36% a -0.28%, la resistencia a la compresión a los 28 días se modificó de -24.20% a 10.22%, el contenido de aire varió de -11.17% a -1.76% y la resistencia a la flexión a los 28 días cambió de -16.51% a 13.90%. En las mezclas asfálticas, la estabilidad se modificó de -8.71% a 108.94%, el flujo se modificó de -7.69% a

6.52%, el porcentaje de vacíos con aire varió de -46.03% a 59.02%, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral cambió de -12.31% a 16.91%, el porcentaje de vacíos llenos con asfalto cambió de -10.00% a 17.79%, el módulo resiliente a 20 °C varió de -37.01% a 36.99% y la relación estabilidad/flujo de 4.70% a 5.22%.

- En el aspecto económico, el costo de fabricación de los adoquines con incorporación de PET, se incrementó hasta en un 3.22%; el presupuesto para la construcción de un pavimento rígido utilizando PET reciclado artesanal se redujo en un 7.25% y el costo para la elaboración de 1 m³ de concreto utilizando PET reciclado industrial se incrementó hasta en un 44.61%; asimismo el costo unitario de materiales para 1 m³ de mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de PET, disminuyó en un 0.44% y el costo para la producción de 1 m³ de mezcla asfáltica modificada con la incorporación de PET reciclado disminuyó hasta en un 2.63%.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la salud y guiarnos por el camino correcto para alcanzar nuestras metas, a nuestras familias por su apoyo incondicional, a UPN por brindarnos la oportunidad de estudiar, a nuestros docentes y asesores universitarios por compartir sus conocimientos a lo largo de nuestra formación profesional y brindarnos el apoyo permanente.

REFERENCIAS

[1] Rivera, J. (5 de diciembre de 2015). La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país. Recuperado el 29 de abril de 2020 de <http://udep.edu.pe/ingenieria/noticias/2015/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/?PageSpeed=noscript>

[2] Corbacho, J. (2019). Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

[3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020).

[4] Carrasco, A. (2009). Infraestructura vial nacional asociada a la competitividad (Tesis de maestría). Universidad de Piura, Piura, Perú.

[5] ContentLab (25 de mayo de 2019). La importancia de reciclar para tener un mejor futuro. El Comercio. Recuperado de https://elcomercio.pe/especial/perusostenible/planeta/reducir-reutilizar-y-reciclar-tener-mejor-futuro-noticia-1994303?fbclid=IwAR0q0SmYeRQBmoYV_v9KsAb7V1s6RQ0ym_CAIAMKCPPQ9tiBC7Mpk3cq6x4

[6] ONU. (5 de julio de 2018). O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta. Recuperado el 30 de abril de 2020 de <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>

[7] Hernández, A. (5 de septiembre de 2016). Perú: El 90% del reciclaje de plástico es informal. Sophimania. Recuperado el 30 de abril de 2020 de <https://www.sophimania.pe/medio-ambiente/contaminacion-y-salud-ambiental/para-el-90-del-reciclaje-de-plasticos-es-informal/>

[8] Meza, Y. (2018). Propiedades físico – mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín – 2017 (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

[9] Arenas, N., & Gómez, Y. (2015). Implementación de un material compuesto mediante plástico reciclado PET para la elaboración de un adoquín (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

[10] Acevedo, A., y Posada, J. (2019). Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 18(34), 45-56.

[11] Esquivel, P., y Tichahuanca, M. (2019). Resistencia y agrietamiento por contracción del concreto para pavimentos rígidos con incorporación de

fibras PET (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú

[12] Pablo, J. (2018). Evaluación de la influencia de las fibras de polietileno en el diseño, construcción y durabilidad de pavimento de concreto en la ciudad de Cerro de Pasco – 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú.

[13] Silvestre, D. (2017). Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017 (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

[14] Berrió, A. (2017). Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

[15] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Lima, Perú: MTC.

[16] Becerra, M. (2012). Tópicos de Pavimentos de Concreto. Diseño, Construcción y Supervisión. Lima, Perú: Flujo Libre.

[17] Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (2014). Guía de Instalación de Adoquines de Concreto. Guatemala: ICCG.

[18] Rivva, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. Lima, Perú: ACI Perú.

[19] Instituto del Asfalto (1986). Manual del Asfalto. España: URMO.

[20] Gómez, J. (2013). Materiales de construcción. Monterrey, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

[21] García, A. (2006). Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa. estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos. Recuperado el 01 de mayo de 2020 de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/aago/a5f.htm>

[22] Jiménez, R. (1998). Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica. Recuperado el 02 de mayo de 2020 de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/bioestadistica/metodologia_de_la_investigacion_1998.pdf

[23] Borja, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo, Perú.

[24] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. México D.F, México: McGraw-Hill.

[25] Otzen, T. & Manterola, C (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

[26] Fernández, M. (2019). Análisis de las características físicas-mecánicas del adoquín con polietileno tereftalato reciclado y adoquín convencional tipo I (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

[27] Pinedo, J. (2019). Estudio de resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con la adición de plástico reciclado (PET), en la ciudad de Tarapoto, 2018 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

[28] Léctor, M., y Villareal, E. (2019). Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.

[29] Palacios, A. (2014). Elaboración de PET-Concreto, buscando mejorar sus propiedades mecánicas de tensión y flexión (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

[30] Luque, A. (2019). Influencia de la incorporación del tereftalato de polietileno en el comportamiento de los parámetros del diseño Marshall del concreto asfáltico – Juliaca, 2018 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

[31] Marcillo, V. (2018). Evaluación del desempeño del hormigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden (Tesis de pregrado). Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

[32] Ramírez, P., y Tananta, W. (2019). Diseño de carpeta asfáltica aplicando gránulos de plástico reciclado para mejorar la transitabilidad del Jr. San Martín, distrito de Tabalosos-2018 (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú.

[33] Paredes, D., Paredes, N. y Urteaga, M. (2021). Comparación técnico – económica de un pavimento convencional y un pavimento modificado con incorporación de plástico reciclado PET en su capa de rodadura, Cajamarca 2020 (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.