



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

FACTIBILIDAD DE DESARROLLAR PAVIMENTOS CON PLÁSTICO RECICLADO

Gissel Estefany Monrroy Murcia, Rubby Stella Pardo Pinzón

**Universidad Santo Tomás
Bogotá, Colombia**

Resumen

Actualmente siguen existiendo grandes deficiencias en el estado de la malla vial en Colombia, una de las principales causas es la baja inversión en este sector, pero también la poca investigación que se ha desarrollado en la búsqueda de nuevos materiales que sean resistentes, económicos y confiables para garantizar vías seguras.

El país requiere de soluciones innovadoras en materia de infraestructura, que reúnan tanto el uso de nuevos materiales como la implementación de métodos para la construcción amigable con el medio ambiente. Para llegar a esto, se propone examinar los beneficios de la construcción de pavimentos con un aditivo de plástico reciclado, material que se viene utilizando en otros países, teniendo en cuenta su costo y propiedades, de tal forma que se pueda ver la viabilidad de su implementación en Colombia.

Se validan varios componentes y a partir del proyecto Potential Reuse of Plastic Waste in Road Construction: A Review, donde se realizó el mantenimiento de una vía con este pavimento modificado, se exponen las ventajas y desventajas de este material, evaluando un aumento de costos cuando se utilizan los polímeros como agregado, sin embargo, con una comparación que se realiza entre el pavimento común y el modificado con plástico se ha llegado a conocer que los beneficios en cuanto a presupuestos, se pueden validar en el proyecto a largo plazo.

Palabras clave: plástico; pavimentos; viabilidad

Abstract

Actually exist big deficiencies in the state of the mesh road in Colombia, one of the main causes is the drop investment in this sector, but also the little investigation that there is in the search of news materials that be resistant, economic and trustworthy in order to garantize security roads.

The country requires of innovative solutions with respect to infrastructure, than meets both the use of news materials and that the implementation of construction methods friendly with the environment. In order to this proposes examine the construction benefits with an additive of recycled plastic, material that it has been used in other countries, considering its cost and properties, so that can see the viability of its implementation in Colombia.

This is validated with some components based on the project Potential Reuse of Plastic Waste in Road Construction: A Review, where the pavement with recycled plastic was used for the maintenance of a road, the advantages and disadvantages of this material are exposed, evaluating a increase of cost when the plastic is use as addition, nevertheless, with one comparison between the common pavement and the modify with plastic it has become known that the benefits in terms of budget can be validated in the project in the long term.

Keywords: *plastic; pavements; viability*

1. Introducción

Históricamente Colombia es un país que ha mantenido un bajo promedio en desarrollo y mantenimiento de la red vial. Si bien es cierto, en los últimos años el estado ha logrado hacer fuertes inversiones y se han desarrollados proyectos que benefician la economía del país, es latente la poca inversión que se hace en investigación para disminuir el consumo de agregados pétreos y la innovación en métodos constructivos con materiales sustentables ambientalmente, que se adaptan a las condiciones actuales de desarrollo.

Es importante incrementar la investigación de materiales alternativos como el pavimento con agregado de plástico, materiales que traen beneficios económicos, ambientales y el mejoramiento de las características físicas y mecánicas de los pavimentos.

Uno de los grandes avances en el sector es el uso de pavimentos a base de caucho reciclado de llantas ya disponible en varios proyectos, sin embargo, su implementación no es muy económica y a veces supera los costos del pavimento común. En consecuencia, se examinan las ventajas económicas del pavimento con agregado de plásticos frente al pavimento común para validar la viabilidad de su implementación.

2. Polímeros como material de construcción

A nivel químico los polímeros son sustancias de alto peso molecular formadas por la unión de monómeros. Los polímeros se pueden clasificar en naturales y sintéticos, para este caso los protagonistas son los sintéticos, que se refiere a los que pasan por un proceso industrial (Rodríguez, 2008).

Este compuesto tiene varias propiedades que lo hacen sobresalir, su peso es una de ellas puesto que es muy liviano y al mismo tiempo resistente al impacto, una alta capacidad de impermeabilidad, algunos hasta presentan resistencia ante ácidos y sustancias alcalinas (Ramírez, 2011).

3. Pavimento con agregados de plástico

Este pavimento es un ligante producto de la interacción física entre polímeros y un cemento asfáltico, para realizar la mezcla es necesario que los polímeros sean homogéneos y están preferiblemente libres de agua. Su proceso de producción se basa en la trituración de desechos plásticos con un tamaño entre 2.5 mm y 4.36 mm; estos son mezclados con el agregado de piedra y se calientan a 170 °C con el fin de ablandar el plástico para que se filtre entre los espacios (Vasudevan, et al., 2012), de esta manera se obtiene una mezcla asfáltica que se puede utilizar tanto para construcción como mantenimiento de vías, respondiendo a un tipo de pavimento flexible.

Hay varios poliméricos que han sido aprobados por las normas ASTM para el uso en pavimentos, estos polímeros comprenden elastómeros que son utilizados para carpetas delgadas ,pavimentos con tránsito pesado y con cualquier clima , también polímeros elastómeros de caucho de estireno ,butadieno látex o neopreno látex recomendables para temperaturas bajas y polímero tipo elastómero que mejora el comportamiento del asfalto en altas temperaturas .En cuanto a otro tipo de polímeros como el polietilentereftalato (PET-residuos de botellas plásticas) entre otros, se sabe que pueden presentar mejoras en las propiedades mecánicas del asfalto, la permeabilidad, la resistencia a las deformaciones por temperatura, el aumento en la fricción neumático pavimento entre otras.(Ramírez, 2011).

4. Comparación de propiedades físicas

Para hablar de las propiedades físicas cabe señalar la investigación de Rodríguez (2008), donde a partir del ensayo de Marshall, determina la cantidad relativa de asfalto y de agregado, que a su vez le sirvió para encontrar las propiedades físicas de la mezcla tanto del asfalto común como del modificado con polímeros. Lo primero que hizo fue tomar las muestras de los dos pavimentos para analizarlas en un laboratorio, esto enfocado en determinar cuatro características de la mezcla densidad-huecos, estabilidad y fluencia.

En la gráfica 1 se encuentran los resultados de densidad para los dos tipos de mezclas en relación con el porcentaje de asfalto, para el asfalto convencional la densidad más alta está en 2330

kg/m³ con un porcentaje de asfalto igual a 5.6% y para el modificado con polímero es de 2367 kg/m³ con un porcentaje de 5.5%.

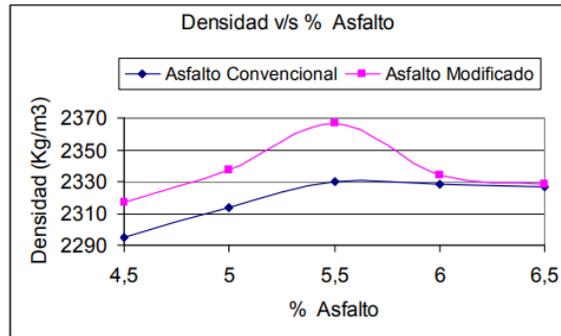


Figura 1. Densidad del asfalto convencional y el modificado con polímeros. Rodríguez (2008).

En el caso de la estabilidad los resultados se ven reflejado en la gráfica 2, los valores más óptimos en este caso son, para la mezcla convencional de 11702 N con un porcentaje de asfalto igual al 5.5% y para la mezcla modificada de 23508 N con un porcentaje de asfalto de 5.4%.

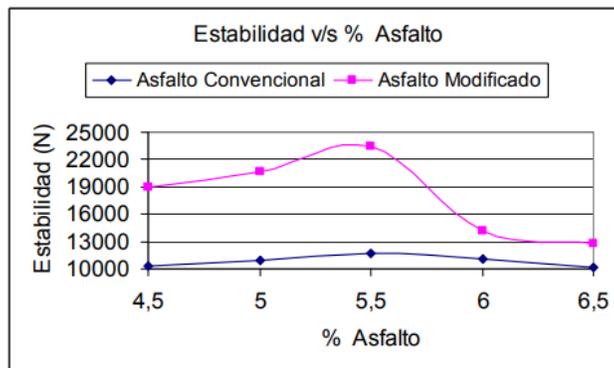


Figura 2. Estabilidad del asfalto convencional y el modificado con polímeros. Rodríguez (2008).

Los resultados anteriormente nombrados, junto con otros factores como la temperatura de mezclado y la temperatura de compactación que dieron respectivamente para el asfalto convencional de 150° C y 141° C y para el modificado de 184° C y 167° C, sirvieron para obtener el porcentaje final más adecuado a usar de asfalto, en el caso del modificado se obtiene un 5,6% y el convencional un 5.5% con factor de error de $\pm 0,3\%$.

Teniendo el porcentaje de asfalto, realizó el ensayo de compresión para tres muestras de cada mezcla, para el asfalto convencional obtuvo una resistencia a la compresión de 92 kg/cm² con una carga de 55 KN, mientras que para el asfalto modificado obtuvo una resistencia a la compresión de 94 kg/cm² para una carga de 56 KN, estos como valores máximos entre las tres muestras tomadas.

Entre otras de las cualidades está la durabilidad, Silvestre (2017) en sus investigaciones, encuentra una pequeña reducción en el flujo que indica una mejora en las propiedades elásticas y rigidez, muy importantes para la resistencia ante las deformaciones permanentes, identificó que la vida útil

del pavimento con agregado de plásticos sobrepasaba hasta en 10 años la del pavimento común, lo que es fundamental porque mejora el tiempo de servicio de la carretera.

También otros autores han verificado la ventaja de durabilidad, por ejemplo, en India Bale (2011) vio como era afectada una carretera con pavimento común y una con agregados de plástico, teniendo en cuenta que en los dos lugares se presentaban fuertes temporadas de lluvia.



Figura 3. Comparación entre pavimento común y modificado de dos carreteras en India. Bale (2011).

Bale afirma que el uso de estas tecnologías ayudó en la construcción de carreteras en India y aumentaron la vida útil de las mismas. Agregando plástico se lograba incrementar el punto de fusión del betón, una gran ventaja puesto que las temperaturas en India llegan hasta a los 50° C.

5. Procesamiento del polímero

En Colombia, como en todo el mundo, el consumo de plástico alcanzado niveles alarmantes, en la capital hay más de 7 millones de ciudadanos que generan hasta 7335 toneladas diarias de residuos, que terminan en el relleno sanitario (Téllez, 2012).

Para la reutilización de este material se llevan a cabo procesos de reciclado mecánico, entendidos como, aquellos que no vuelven a utilizar los materiales para el mismo uso, este proceso es el tipo de reciclaje que se utiliza para el agregado de pavimentos. El proceso comprende la trituración, el lavado donde, se quitan los contaminantes y por último los procesos que se requieran para la comercialización.

En Colombia existen varias empresas que comercializan plástico reciclado, se pueden revisar algunas de estas y los costos de dicho material.

Tabla 1. Costo para el plástico reciclado

Empresa	Cantidad (kg)	Costo (pesos)
Compresión	1 kg	2500
CyG	1 kg	2600

6. Ventajas del uso del plástico como agregado

Ambientales

El proceso de fabricación de este tipo de pavimento incluye un calentamiento del plástico, aunque se puede pensar que esto genera gases nocivos, la verdad es que el calentamiento es mínimo y no llega a temperaturas agresivas para el material, por lo cual su implementación es segura para el ambiente. Además, se genera un alto aprovechamiento de plástico que en proyectos a gran escala puede generar un gran impacto, en Colombia un 35% de los desechos son reutilizables de este porcentaje el 14% son polímeros y solo el 6,44% son utilizados, el resto son desechados (Ramírez, 2011). Haciendo uso de estos polímeros para la construcción, se rescatarían grandes cantidades de toneladas disminuyendo los desperdicios, puesto que se puede usar hasta 1 ton en un solo kilómetro (Vasudevan, et al., 2012).

Geotécnicas

Se sabe que al añadir plástico a la mezcla del asfalto su peso se reduce, según Silvestre (2017) esto permite reducir la carga sobre el suelo y dar mayor espacio para facilitar las instalaciones de cables y tuberías, pero además de esto recientes estudios afirman que el uso de polímeros es un gran aliado para la estabilización de suelos, Arteaga (2018) dice que en el colegio de Ingeniería de Amal Jyothi en Kanjirapally India se hizo un estudio sobre la capacidad potencial de estabilizar el suelo con residuos de plástico, para determinar el efecto de las fibras de plástico en arcilla limosa, en esto concluyeron un aumento en la densidad seca máxima gracias a la adición de plástico que disminuye los vacíos.

Económicas

Actualmente no existen muchos proyectos que corroboren los presupuestos exactos que conlleva la construcción de una vía con agregados de plástico, sin embargo, se han realizado proyectos que calculan un aproximado, por ejemplo, en uno de los estados de India, en Tamil Nadu la construcción de carreteras con este material se ha vuelto muy popular y han sido incorporadas en más de 16000 Km según (The Guardian, 2018). Un proyecto hecho allí para el mantenimiento de una vía de 1 km con un ancho de calzada aproximado de 10,125 m estima unos costos totales de \$6901,82 USD que serían \$ 27 millones de pesos a partir de lo expuesto en (Bale, 2011), utilizando 11.250 ton de Betún y plástico que reemplaza un 10% del Betún equivalente a 1,5 ton.

Tabla 2. Presupuesto del mantenimiento de una vía con plástico reciclado en Tamil Nadu

Tipo de Pavimento	Costo
Recolección de Plásticos	\$ 2682853,58
Costo de la trituradora y otros equipos	\$ 2682853,58
Construcción de carretera (mano de obra/materiales)	\$ 21462828,65

En Colombia hay algunos presupuestos que relacionan los pavimentos modificados con los comunes, Arteaga (2018) realiza un aproximado tomando como referente el Manual de Diseño de

Pavimentos, a partir de una mezcla de pavimento cemento + base BCT 25 + Agua realiza un aproximado de costos y luego determina los mismos para una mezcla reemplazando el material inicial con el 2%, 4% y 6% de material PET que se refiere al polímero. El tramo para el cual se valida los presupuestos tiene una longitud de 100 m, un ancho de carril de 3,65 m y un espesor de base estabilizada con cemento de 0,15 m. En la siguiente tabla se pueden apreciar los costos para las distintas mezclas en dicho tramo.

Tabla 3. Presupuestos estimados para una vía en Colombia con las distintas mezclas

Tipo de Mezcla	Costo (Pesos)
Costos totales de Tramo 1 Base +Cemento	\$3.735.357,2
Costos totales de Tramo 1 Base +Cemento + PET al 2%	\$5.984.012,4
Costos totales de Tramo 1 Base +Cemento + PET al 4%	\$8.183.530,5
Costos totales de Tramo 1 Base +Cemento + PET al 6%	\$10.245.662,6

Se puede evidenciar un claro incremento en los costos al añadir los polímeros, sin embargo, con base en lo expuesto recientemente por Velázquez (2017), la vida útil al agregar polímeros se incrementa debido a sus cualidades en cuanto a durabilidad y resistencia, como lo explica en el siguiente gráfico donde AC corresponde al asfalto común y AMP al asfalto modificado con polímeros.



Figura 4. Comparación a nivel de costos entre la mezcla de asfalto común y la modificada. (Silvestre, 2017)

Silvestre determina en su investigación una diferencia de hasta diez años de vida útil del pavimento modificado sobre el pavimento común, también al analizar la gráfica se evidencia que la inversión inicial que se debe hacer para el pavimento, no solo se recupera en relación con el pavimento común, sino que se vuelve mucho menor en un estimado de 15 años, si se tiene en cuenta esto con los datos de la tabla 4 se podría calcular una disminución de costos a largo plazo.

Es necesario aclarar , que así como el incremento de plástico aumenta los costos para el caso de la investigación nombrada anteriormente , también inciden otros factores a la hora de examinar presupuestos , Silvestre nombra algunos, por ejemplo, el proceso de reciclado influye de manera importante en los costos , puesto que el plástico aunque es de fácil obtención requiere de una cultura social que se encargue de su recolección para poder reutilizarlo y en países como Colombia no existe todavía este tipo de iniciativa por esto los costos son muy altos (Téllez, 2012). Por último, es importante destacar que el tipo de polímero que se utilice incide directamente en su durabilidad por esto es necesario un estudio previo que determine es el más adecuado para cumplir su finalidad que es prolongar su vida útil y disminuir costos a largo plazo.

7. Referencias

Fuentes electrónicas

- Téllez Maldonado, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Consultado el 18 de junio de 2020 en <http://bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf>
- Hoyos Gómez, R. D. (2016, Noviembre). Supervisión técnica de construcción en vía de pavimento rígido con reforzamiento continuo. Consultado el 17 de junio de 2020 en <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9150/Hoyosrafael2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, F. A. W. (2008). "Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero". Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, 16. Consultado el 17 de junio de 2020 en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcw961a/doc/bmfcw961a.pdf>
- Ramírez Jiménez, L. M. (2011). Pavimentos con polímeros reciclados (Doctoral dissertation, Universidad EIA). Consultado el 17 de junio de 2020 en http://www.academia.edu/download/39188621/reciclaje_asfalto_con_llantas.pdf
- Silvestre Velásquez, D. F. (2017). Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima-2017. Consultado el 17 de junio de 2020 en <https://core.ac.uk/download/pdf/225601403.pdf>
- The Guardian. (2018, Julio). The upside India : The man who paves India's roads with old plastic. Consultado el 17 de junio de 2020 en <https://www.theguardian.com/world/2018/jul/09/the-man-who-paves-indias-roads-with-old-plastic>
- Arteaga Villamarín, J. F. (2018). Análisis del comportamiento de la base-cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado. Consultado el 19 de junio de 2020 en <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16406/1/DOCUMENTO-ANALISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20DE%20LA%20BASE%20%20CEMENTO%20PARA%20PAVIMENTOS%20CON%20ADICION%20DE%20RESIDUOS%20PET%20RECICLADO.pdf>
- Téllez Maldonado, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá* (Doctoral

dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Consultado el 19 de junio de 2020 en <http://bdigital.unal.edu.co/7080/1/905077.2012.pdf>

Artículos de revistas

- Bale, A. S. (2011). Potential reuse of plastic waste in road construction: a review. *International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET)*, 2, 233-236.
- Vasudevan, R., Sekar, A. R. C., Sundarakannan, B., & Velkennedy, R. (2012). A technique to dispose waste plastics in an ecofriendly way–Application in construction of flexible pavements. *Construction and Building Materials*, 28(1), 311-320.

Sobre los autores

- **Gissel Estefany Monrroy Murcia:** Bachiller, estudiante de Ingeniería Civil, integrante del Semillero de Vías y Transporte a cargo de la docente Rubby Pardo. gisselmonrroy@usantotomas.edu.co
- **Rubby Stella Pardo Pinzón:** Ingeniera Topográfica, Especialista en Vías Urbanas, Tránsito y Transporte, Magíster en Ingeniería-Transporte, Docente Universidad Santo Tomas, coordinadora del Semillero de Vías y Transporte. rubbypardo@usantotomas.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)