

**USO DE POLÍMEROS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PLACAS VIALES AUTOSOSTENIBLES EN LA ZONA
SABANA DE BOGOTÁ**



AUTORES

SHIRLEY PATRICIA BALLEEN QUINTERO

KAREN TATIANA DIAGO CAICEDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

ALEXANDER ANTONIO GUILLÉN PINTO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CAJICÁ, 21 DE OCTUBRE 2022

USO DE POLÍMEROS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS AUTOSOSTENIBLES EN LA ZONA SABANA DE BOGOTÁ

INVESTIGACIÓN EN CURSO

USE OF POLYMERS IN THE CONSTRUCTION OF SELF-SUSTAINABLE ROADS IN SABANA AREA OF BOGOTÁ

Diago Caicedo, Karen T.¹, Ballén Quintero, Shirley P.²

Resumen. En la actualidad el plástico se ha vuelto indispensable para el hombre, pero es un problema que crece exponencialmente. El daño ambiental es un tema preocupante, sus propiedades lo convierten en un material fuerte y resistente, su degradación es muy demorada, siendo así el contaminante más grande; depositándose en islas de plástico que atentan contra el ecosistema presente. De esta manera surgen ideas innovadoras de infraestructura en el área de urbanismo sostenible para hacer frente a este problema.

Una de ellas es el uso de polímeros en la construcción de placas viales autosostenibles; utilizando objetos de plástico y sometiénolos a compresión, se obtienen placas que sirven como una nueva tecnología en la construcción de carreteras. Y no solo es rentable, también facilitaría la mejora de las vías, ya que sería sencillo remover una pieza dañada y reemplazarla por otra.

Como propuesta de investigación de semillero, se quiere estudiar y analizar las propiedades y características de las placas viales a base de polímeros bajo la acción de los diferentes climas (temperaturas); así podremos verificar los cambios; concluyendo que tan rentable y buena es esta propuesta para nuevas y futuras tecnologías viales.

Palabras Clave: Tecnologías en vías, Uso de polímeros, Desarrollo sostenible, Reciclaje de plástico, Diseño de vías.

Abstract. Nowadays, plastic has become indispensable for man, but it is a problem that is growing exponentially. Environmental damage is a worrying issue, its properties make it a strong and resistant material, its degradation takes a long time, making it the largest pollutant; depositing themselves on plastic islands that threaten the present ecosystem. In this way, innovative ideas of infrastructure arise in sustainable urbanism to face this great problem.

One of them is the use of polymers in the construction of road plates; Using plastic objects and subjecting them to compression, plates are obtained that serve as a new technology in road construction. And not only is it cost-effective, it would also facilitate the improvement of the tracks since it would be easy to remove a damaged part and replace it with another.

This ingenious idea was born in Holland, by the company Volker Wessels. As a seedbed research we want to study and analyze the properties and characteristics of polymer-based road plates under the action of different climates (temperatures); This way we will be able to verify the changes that they will undergo since the mechanical properties can vary the resistance of the material; concluding how profitable and good this proposal is for new and future road technologies.

Key Words: Road technologies, Polymer use, Sustainable development, Plastic recycling, Road design.

¹ Estudiante de la Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil. Cajicá, Colombia. u5500463@unimilitar.edu.co

² Estudiante de la Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil. Cajicá, Colombia. est.shirley.ballen@unimilitar.edu.co

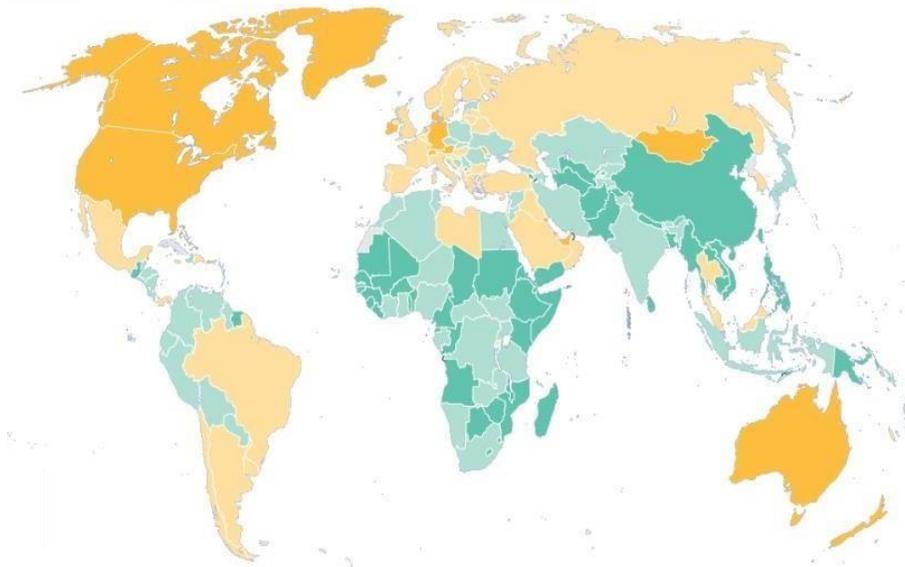
INTRODUCCIÓN

La investigación se enfoca en el uso de alternativas ambientalmente sostenibles para el diseño y construcción de placas viales a base de polímeros debido a la alta producción de plásticos de un solo uso y que generan un alto impacto ambiental consecuencia de su lenta degradación. En el mundo se generan 2.100 millones de toneladas de basura y que este valor ha venido aumentando en las últimas décadas (BBC News Mundo, 2019), por lo que este problema ha llegado a convertirse en una preocupación internacional. Y no sólo eso, sino que de esta cantidad de basura producida únicamente el 16% es reciclada (lo más reciclado es el cartón y el papel), por lo que se deja de lado uno de los residuos más difíciles de reutilizar: el plástico.

Cantidad de desechos generados por país

(kilogramos / per cápita / al día)

0 a 0,49 kg. 0,50 a 0,99 kg. 1 a 1,49 kg. Más de 1,50 kg. Sin información



Fuente: Banco Mundial, 'Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050'.

BBC

Figura 1. Cantidad de basura producida por país.

Fuente: Banco Mundial.

Este problema se ha salido de las manos y ha llegado a afectar el mar, pues la presencia de basuras (mayormente plásticos) en el Océano Atlántico han aumentado de manera exponencial desde 1950, con un total de 47 millones de toneladas para el 2020 (CNA, 2020),

afectando la vida marina de manera irreversible, pues se ha demostrado que muchos de los animales marinos consumen plástico e incluso lo prefieren generando increíbles problemas de esterilidad y deformaciones morfológicas, e incluso generando erosión en las costas (Soria, 2018).

Ahora, en un país como Colombia donde se llegan a producir 12 millones de toneladas de basura al año y de los cuales apenas el 17% se recicla (Arreondo, 2020), el plástico ocupa nuevamente el último lugar en ser reciclado en el país con 8,8% de los datos reportados por parte de la superintendente Natasha Avendaño. Empresas como Coca Cola o Postobón se han comprometido a mejorar el aprovechamiento de estos recursos, pues las botellas PET son de los plásticos que menos se reciclan, considerando que para el 2019 apenas se reutilizan 3 millones de botellas de los 12 millones que salen al mercado, según la Cámara de Comercio de Bogotá (2019).

El plástico se considera un material difícil de reciclar debido a su compleja composición molecular.

Teniendo en cuenta este panorama, este trabajo permitiría mostrar una perspectiva en el reciclado de plásticos y su aplicación como materia prima en el desarrollo de vías autosostenibles, profundizando en los conocimientos teóricos sobre los procesos de diseño y producción de las mezclas asfálticas, además de ofrecer una mirada integral sobre el daño ambiental producido por el crecimiento económico no sustentable, ayudando a la concientización de la población local.

OBJETIVOS

General

Construir una vía instrumentada como modelo académico a base de polímeros reciclados en placas, como instrumento de las nuevas tecnologías de ejecución vial.

Específicos

- Definir el proceso de obtención y trituración de los plásticos.
- Diseñar la placa vial y el proceso de compresión empleada en su producción.
- Seleccionar los ensayos de laboratorio pertinentes para obtener sus propiedades mecánicas.
- Sintetizar los resultados obtenidos para su presentación final.

MARCO DE REFERENCIA

Marco teórico

Para comprender de manera adecuada el funcionamiento de una vía, se debe comprender todo el proceso que comprende su construcción y mantenimiento, así como todos los elementos que lo componen.

Una vía puede definirse como un medio de transporte que permite la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en espacio y el tiempo, por lo que requiere cierto nivel de

seguridad, comodidad y rapidez. Está conformada por diferentes partes y obras que aseguran su correcta funcionalidad como lo son la explanación, definida por la banca de la vía, los taludes de corte y relleno, y el perfil transversal del terreno natural; el drenaje vial, obras hidráulicas enfocadas a preservar la integridad de la estructura de pavimento guiando el agua que puede ocasionar daños estructurales fuera del camino; las cunetas, zanjas construidas de forma paralela a las bermas y que se diseñan para facilitar el drenaje superficial de la carretera; zanjas de coronación como canales que se construyen en la parte alta del talud de corte para recoger aguas de bajada de las pendientes naturales (escorrentía) y finalmente, las bajantes o aliviaderos que permiten transportar el agua de las zanjas de coronación hacia la parte inferior del talud.

Pero la estructura más importante dentro de la vía es la del pavimento. Se conforma a través de diferentes capas que aportan y ayudan a la transmisión de cargas al terreno natural. El pavimento puede diseñarse para tres tipos de aplicaciones: rígido, flexible y articulado. El primero se caracteriza por que la estructura más expuesta es de concreto hidráulico, donde sus capas inferiores suelen ser una subbase y la subrasante mejorada o no. El pavimento flexible, por otro lado, tiene su capa de rodadura a base de mezcla asfáltica (que puede ponerse en caliente o fría) y que se encuentra por encima de capas como la subbase, la base y la subrasante. Finalmente, el pavimento articulado se caracteriza por el uso de bloques de concreto o ladrillos de arcilla que descansan sobre una capa de arena, base granular o directamente sobre la subrasante.

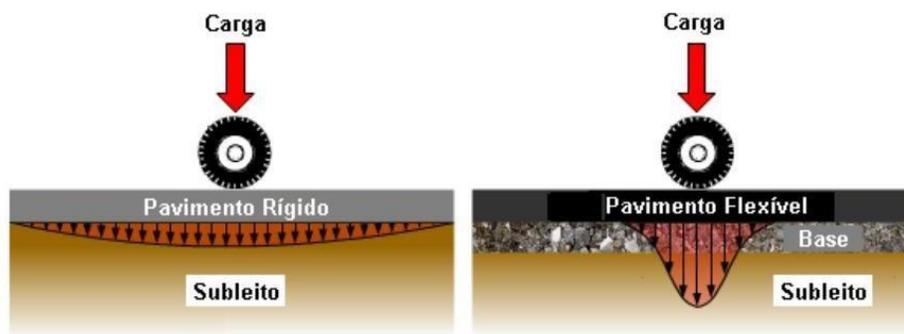


Figura 2. Comparación de la transmisión de cargas en pavimento rígido y flexible.
Fuente:(Araújo, 2016)

Para el pavimento rígido, el diseño del concreto hidráulico se enfoca en que el material tenga una excelente resistencia a la abrasión y al impacto, además de soportar esfuerzos de compresión y tensión altos. Para el pavimento flexible, las mezclas asfálticas se analizan igualmente a la abrasión, el contenido de bitumen necesario para una buena interacción de la mezcla, los puntos de inflamación y combustión (especialmente para mezclas en caliente), la viscosidad de la mezcla, entre otras características que permitirán desarrollar

satisfactoriamente las condiciones esperadas de tráfico. Además, existen mezclas asfálticas con contenido de resina polimérica que también se pueden estudiar a través de las normas y ensayos colombianos.

Los ensayos más desarrollados para pavimentos en Colombia son (dados por el Instituto Nacional de Vías):

1. **Caracterización del suelo:** estos ensayos permiten conocer las propiedades y características principales del suelo donde se ubicará la estructura. Los más aplicados son el ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo por tubo partido (INV E-111), determinación del contenido orgánico de un suelo mediante ensayo de pérdida por ignición (INV E-121), equivalente de arena de suelos y agregados finos (INV E-133), relaciones de humedad – peso unitario en los suelos (INV E-141 Y E-142), relación de soporte del suelo en el terreno (INV E-169), entre otros contenidos en la sección 100 del manual de ensayos del INVIAS.
2. **Para el concreto hidráulico:** estos pueden abarcar resistencia a la compresión en cilindros de concreto (INV E-410), resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre (INVE E-414), entre otros comprendidos en la sección 400 del manual de ensayos del INVIAS.
3. **Para materiales asfálticos:** determinación del contenido de bitumen (INVE E-703), puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta Cleveland (INV E-709), viscosidad Saybolt de asfaltos (INVE E-714), resistencia y tenacidad en materiales bituminosos (INV E-728), entre otros comprendidos en la sección 700 del manual del invias para ensayos.

Estado del arte

Los polímeros son uno de los materiales más antiguos usados por el ser humano, tanto natural como sintético. Históricamente, el primer registro de uso de este material se remonta al uso de ámbar, caucho natural y la gutapercha (García Fernández-Villa & San Andrés Moya, 2018), así como de cuernos o pezuñas animales y carey. García Fernández-Villa et. al (2018) propone que la goma laca, un polímero de origen natural, fue ampliamente utilizada durante la Segunda Guerra Mundial como material de moldeo y aglutinante, aunque no fue sino hasta 1980 que llegó a Estados Unidos para producir discos de gramófono, aunque posteriormente fue reemplazado por la baquelita.

También se tienen registro del uso del caucho natural, un polímero hidrocarbonado obtenido de la coagulación del látex, por lo que se considera de origen vegetal (García Fernández-Villa & San Andrés Moya, 2018), siendo ampliamente usado por los Mayas y Aztecas para elaborar las pelotas. Llegó a Europa gracias a Colón y fue empleado por el científico Priestley (1770) para hacer gomas de borrar, sin embargo, se intentó emplear en ropa impermeable, con muy poco éxito. Otro muy poco considerado es el papel maché, una mezcla de diferentes materiales de procedencia oriental, debido al interés de los países europeos por la cultura asiática y sus elementos lacados.

A pesar de que existen registros de que los polímeros artificiales existían desde hace mucho tiempo, este término no fue acuñado hace mucho e incluso de llega a decir que fue descubierto fortuitamente y descartado debido al poco avance tecnológico de la época. Surgen de la falta de recursos naturales como por ejemplo el caucho, que fue introducido en Europa debido a las grandes plantaciones de árboles *Hevea Brasilensis*, encontrado únicamente en tierras colonizadas y que eran costosas de importar. Por lo que muchos químicos se dieron a la tarea de modificar estructuralmente los materiales ya conocidos y se dieron muchos descubrimientos interesantes, como el caucho vulcanizado, descubierto de forma independiente por Hancock en Inglaterra y principalmente por la empresa estadounidense Goodyear añadiendo variables porcentajes de azufre al caucho natural haciéndolo perder sensibilidad a los cambios térmicos y obteniendo una goma extremadamente dura que revolucionó la industria automotriz.

Otro polímero descubierto en esta época fue el nitrato de celulosa por parte del químico sueco Schönbein, obteniendo un material increíblemente inflamable y que en su momento fue usado como explosivo (trinitrato de celulosa). Sin embargo, al reducir la carga de nitrato de la celulosa (dinitrato de celulosa) se logra generar una película de celulosa que se llamó colodión y fue usada para la protección de heridas y en las primeras tiras de fotografías.

El polímero sintético como lo conocemos hoy en día tiene su origen de un concurso realizado en 1860 gracias al fabricante de bolas de billar Phelan and Collander. El plástico artificial se ha convertido en una parte indispensable en la cotidianidad mundial. Desde botellas y juguetes hasta alta tecnología desarrollada para mejorar el bienestar humano, este invento del hombre fue desarrollado gracias a su par natural, la celulosa que se disolvía con hidrato de carbono, etanol y alcanfor (García, 2009). Sin embargo, en los años 30 con el uso de un polímero conocido como polietileno, creado al descubrir que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión; el poliestireno y el nylon, la primera fibra artificial. En la actualidad, se ha desarrollado el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases y que ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente a escalas inconcebibles.

En ingeniería civil se ha utilizado este material en diferentes aspectos como: adhesivos, pegantes, retardantes, remplazo de vidrios, cobertura de cables de alta resistencia, tuberías de fontanería y aguas negras, entre otros usos. Sin embargo, se destaca el constante uso de este material de forma reciclada como parte fundamental en lo que se refiere a mezclas asfálticas y como parte de la mezcla de concreto usada para pavimento rígido. Tanto así, que las nuevas normas técnicas (NTC) para la caracterización de mezclas asfálticas proponen un capítulo especial para mezclas adicionadas con polímeros.

Un caso particular es el estudiado por Dui Jia Zhao et. al. (2009) donde se caracteriza por medio de diferentes ensayos de laboratorio una mezcla asfáltica en caliente con varias adiciones de polímeros como estireno, butadieno, caucho y polímeros complejos que demostraron que los cambios que se observaron entre un ensayo y otro están principalmente concentrados en la cantidad de polímero adicionado (entre 3% a 10% de la cantidad de asfalto), pues entre mayor es la cantidad agregada, mejores se vuelven las capacidades

aglutinantes de la mezcla. Se afectaron dos características principales de las mezclas asfálticas en caliente como la rotura al momento de enfriamiento, la estabilidad de la mezcla y una de las más importantes, la fatiga por sobrecarga que demostró una mejora significativa en la capacidad de aceptar carga a medida que el porcentaje de contenido de asfalto aumentaba.

Pero se plantea la obtención de estos polímeros a través de reciclaje de materiales PET como las botellas de bebidas y otros elementos, que se han convertido en un problema de escala mundial. Esto ha sido analizado por Patel et. al. (2014) que realizó una mezcla asfáltica usando material de reciclaje recolectado en centros de acopio de India, donde se convirtió en polvo y se mezcló con el bitumen en el diseño. Se estudió la interacción entre este agregado en polvo y el bitumen a altas temperaturas (140°C a 160°C, ambos en estado líquido) y se unen con el agregado, creando una mezcla usada para pavimentar 1 kilómetro de vía, de forma exitosa.

Otro ejemplo de éxito es el de la empresa neozelandesa Volker Wessels, que ideó utilizar los residuos plásticos que han llenado los océanos creando placas con cavidades interiores para tuberías y redes de cables que reemplazarían al pavimento común usado en las carreteras. El nombre de este proyecto es Plastic Roads, que plantea reemplazar el convencional uso de los plásticos para mejorar la situación medio ambiental por la que está pasando el planeta.

METODOLOGÍA

De la información analizada en la investigación, así como de los datos recolectados y la experiencia de terceros, se determinó que la metodología a seguir para el desarrollo de esta propuesta de investigación sea la siguiente:

1. Revisión del estado del arte y elaboración del marco teórico, donde se podrá determinar las propiedades mecánicas más afectadas por las variaciones térmicas.
2. Búsqueda de la fuente de los plásticos, así como seleccionar el proceso de trituración adecuado para la obtención del polímero en el estado óptimo para su uso.
3. Diseño de la mezcla de polímero analizando las proporciones de adición de cada uno de los materiales involucrados.
4. Selección de los ensayos pertinentes con respecto a las propiedades mecánicas de la mezcla polímero.
5. Síntesis de resultados, analizando las variables involucradas y generar un informe final con los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se propone que se realice, inicialmente un modelo a escala que permita evaluar ciertas propiedades mecánicas para posteriormente pasar a una vía piloto instrumentada que permita evaluar las capacidades reales de la vía frente a cargas vehiculares comunes en la zona sabana

de Bogotá. Este modelo se desarrollará de la siguiente manera, y siguiendo con la metodología propuesta previamente:

1. Los materiales PET y reciclables plásticos se obtendrán del centro de acopio de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus y de los ubicados en los municipios aledaños a la universidad como pueden ser los ubicados en los municipios de Cajicá y Zipaquirá.
2. El proceso de trituración para facilitar el manejo de estos materiales es la trituración primaria que permita obtener tamaños de partícula de 20 cm (usando trituradoras de mandíbula) y un segundo proceso de trituración que transforme estas a partículas a tamaños de 1 cm (mediante trituradora de conos o giratoria).
3. Se procederá a un proceso de homogenización en estado líquido, llevando estas partículas a horno con temperaturas que rondan los 140°C a 160°C evitando la quema del plástico y adicionando de la misma manera un porcentaje pequeño de material asfáltico en proporción al total de polímero adicionado (entre el 3% al 5%).
4. Se ubicará la mezcla en un molde donde se podrá, por medio de esfuerzos compresivos, dar forma a la placa que tenga todas las cavidades de diseño para el paso de las tuberías y materiales electrónicos. Este molde se deberá encerar para evitar que la mezcla se pegue en él. Además, se procederá a enfriar y limar los bordes de la placa, observando cuidadosamente las variaciones volumétricas que puedan aparecer y que sean consideración de falla mecánica.
5. Se procederá a realizar los pertinentes ensayos que evalúen las capacidades de compresión, flexión, tracción indirecta, rendimiento a la abrasión y el impacto a las placas siguiendo las normativas propuestas por el manual de ensayos del Institución Nacional de Vías, algunas propuestas por las Normas Técnicas Colombianas y otras que permitan caracterizar los lotes de placas.
6. Realizar una recolección de datos y realizar una comparación con las condiciones esperadas para pavimentos rígidos y flexibles, a través de cuadros comparativos y gráficas que evidencien de manera clara la información obtenida.

CONCLUSIONES

De lo mostrado anteriormente: materiales y métodos, resultados y su discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones referentes al proceso de diseño del modelo a escala y la vía piloto instrumentada:

- Reducir el impacto negativo de los materiales PET y reciclables plásticos al generar un proceso de segundo ciclo de vida por medio de su aplicación a la construcción de las placas viales autosostenibles.
- Aportar a la economía de la región con procesos constructivos de vías más sencillos y que permitan emplear materiales fáciles de conseguir con un reemplazo y mantenimiento adecuado.

- Aumento en las propiedades mecánicas de las placas como la fatiga por sobrecarga, la rotura al momento del enfriamiento y la capacidad de carga producto de la implementación adecuada del polímero y asfalto.
- Reducción en los costos de mantenimiento y reparación de las vías desarrolladas bajo esta metodología, ya que serán fácilmente reemplazables por otras recién procesadas, mientras que la placa afectada será nuevamente fundida para la producción de una nueva unidad.
- Lograr la construcción de la vía piloto instrumentada para obtener datos reales de las capacidades mecánicas, las afectaciones por el cambio climático propio de la región y el impacto de las cargas reales usuales de la zona.

REFERENCIAS

Araújo, Marcelo Almeida; et. al. Análisis comparativo de los métodos de suelo pavimento duro (hormigón) x flexible (asfalto). Revista científica multidisciplinaria base de conocimiento. Año 01, edición 11, vol. 10, pp. 187-196, noviembre de 2016Arreondo, J. (1 de Marzo de 2020). El 78% de los hogares colombianos no recicla. Revista Semana.

BBC News Mundo. (8 de Julio de 2019). "Crisis mundial de la basura": 3 cifras impactantes sobre el rol de los Estados Unidos. Obtenido de BBC: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48914734#:~:text=El%20grupo%20especializado%20en%20an%C3%A1lisis,de%20esa%20basura%20es%20reciclada>.

Cámara de Comercio de Bogotá. (5 de Julio de 2019). Colombia entierra anualmente 2 millones de pesos en plásticos que se pueden reciclar. Obtenido de Cámara de Comercio de Bogotá: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Comunicacion-Grafica/Noticias/2019/Julio-2019/Colombia-entierra-anualmente-2-billones-de-pesos-en-plasticos-que-se-pueden-reciclar#:~:text=El%20PET%20s%C3%AD%20es%20reciclable,reciclaje%20de%20PET%20son%20bajos>.

CNA. (19 de Agosto de 2020). Atlantic plastic levels far higher than thought: Study. Obtenido de CNA International Edition: <https://www.channelnewsasia.com/news/world/atlantic-ocean-plastic-levels-pollution-study-13033570>

Conejo Poveda, D. H., & Vargas Camacho, S. A. (2017). Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas de concreto asfáltico tipo 2 (MDC-19) con adición de polímeros. Bogotá D.C.: Repositorio Universidad Católica de Colombia.

García Fernández-Villa, S., & San Andrés Moya, M. (2018). El plástico como bien de interés cultural (I): Aproximación a la historia y composición de los plásticos de moldeo naturales y artificiales. Idea: criterios y métodos, 87-102.

García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 10(1), 71-80. Obtenido de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE09/garcia.pdf>

Gawande, A., Zamare, G., Renge, V. C., Tayde, S., & Bharsakale, G. (2012). An overview on waste plastic utilization in asphaltting of roads. Technical Journals, 01-05.

George, S. (2 de Agosto de 2018). Why can't all plastic waste be recycled? Obtenido de The Conversation: <https://theconversation.com/why-cant-all-plastic-waste-be-recycled-100857>

Lin, P., Huang, W. D., Liu, X. Y., Apostolids, P., Wang, H. P., & Yan, C. Q. (2020). Laboratory evaluation of the effects of long-term aging on high-content polymer-modified asphalt binder. Journal of materials in civil engineering, 157-169.

Múnera Ossa, J. C. (2012). Modificación polimérica de asfaltos. Medellín: Repositorio Universidad EAFIT.

Patel, V., Popli, S., & Bhatt, D. (2014). Utilization of plastic waste in construction of roads. International Journal of scientific research, 161-163.

Qi, X. C., & Sebaaly, P. E. (1995). Evaluation of polymer-modified asphalt concrete mixtures. Journals of materials in civil engineering, 117-124.

Ramirez Ramirez, L. M. (2011). Pavimentos con polímeros reciclados. Envigado: Repositorio Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Rodríguez, H. (6 de Septiembre de 2018). Carreteras fabricadas con plástico . Obtenido de National Geographic: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/carreteras-fabricadas-plastico_13133

Sarrión Sos, H. (2018). Propiedades y aplicaciones de los polímeros sintéticos en la construcción. Valencia: Repositorio Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Shaquif, H., & Hamid, A. (2016). Plastic Roads: a recent advancement in waste management. journal of Engineering Research and Technology , 684-688.

Soria, C. (2 de Noviembre de 2018). ¿Ha llegado el plástico al pescado que comemos? Obtenido de Hola: <https://www.hola.com/estar-bien/20181102132088/el-plastico-ha-llegado-al-pescado-que-comemos-cs/#:~:text=Los%20n%C3%BAmeros%20acerca%20de%20la,uno%20de%20sus%20alimentos%20favoritos.>

Stegmüller, C. (5 de Noviembre de 2019). Why is plastic so hard to recycle? Obtenido de Swiss Info: https://www.swissinfo.ch/eng/nouvo_why-is-plastic-so-hard-to-recycle-/45348284

Zhao, D. J., Lei, M. J., & Yao, Z. K. (2009). Evaluation of polymer-modified hot-mix asphalt: laboratory characterization. Journal of materials in civil engineering, 163-170.