

Comparación del comportamiento de un cemento asfáltico modificado con desecho de pebd y otro modificado con desechos de pvc

Comparison of the performance of an asphalt cement modified with pebd waste and another modified with pvc waste

Luisa Daniela Fuentes Pérez²

Jesús Leonardo Peñaranda Carrero³

Maryelli Patiño Ramos⁴

REVISTA FORMACIÓN ESTRATEGICA. Aprobado Julio 2022

¹ Derivado del proyecto de investigación: Cementos asfálticos modificados

² Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, luisadanielaftp@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1094-1096>

³ Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, jesusleonardopc@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1557-4640>

⁴ Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, maryellipr@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2243-3961>

RESUMEN

En el presente artículo analiza los aspectos positivos y negativos de la modificación de un cemento asfáltico CA 80-100, con la adición de dos polímeros plastómeros, como el PVC y el PEBD, formando así la mezcla asfáltica MDC-2; por medio de estudios científicos realizados en Colombia, en las ciudades de Bogotá y Medellín, de los cuales son contrastados sus características generales y reológicas a partir de los ensayos establecidos por el INVIAS. Los resultados obtenidos permitieron identificar que, la adición de estos polímeros plastómeros, logran incrementar y mejorar las propiedades químicas, mecánicas y reológicas, así también, el uso de estos permite la reutilización de desechos que pueden ser utilizados para la elaboración de estas mezclas asfálticas; sin embargo, la mezcla asfáltica modificada con PVC, logra mostrar una mejor resistencia mecánica, un mayor módulo resiliente, y una mayor resistencia a la deformación bajo ciclos de carga; esto denota que la viabilidad de emplear este polímero en los cementos asfálticos, le otorga una menor susceptibilidad a las fallas comúnmente encontradas, permitiendo un aumento y una prolongación de la vida útil de los pavimentos que se desarrollen con esta mezcla asfáltica modificada con desecho de PVC. A diferencia de la mezcla asfáltica modificada con PEBD, que, aunque muestra una mejoría en los mismos aspectos evaluados de la mezcla con PVC, con respecto a una mezcla

asfáltica convencional, esta no logra obtener un mejor rendimiento que la mezcla modificada con PVC.

¹ Derivado del proyecto de investigación: Cementos asfálticos modificados

² Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, luisadanielafp@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1094-1096>

³ Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, jesusleonardopc@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1557-4640>

⁴ Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, maryellipr@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2243-3961>

ABSTRACT

This article analyzes the positive and negative aspects of the modification of a CA 80-100 asphalt cement with the addition of two plastomeric polymers, such as PVC and LDPE, thus forming the MDC-2 asphalt mixture, by means of scientific studies carried out in Colombia, in the cities of Bogotá and Medellín, whose general and rheological characteristics are contrasted based on the tests established by INVIAS. The results obtained allowed identifying that the addition of these plastomeric polymers increases and improves the chemical, mechanical and rheological properties, as well as allowing the reuse of waste that can be used for the elaboration of these asphalt mixtures; However, the asphalt mixture modified with PVC shows a better mechanical resistance, a higher resilient modulus, and a higher resistance to deformation under load cycles; this denotes that the feasibility of using this polymer in asphalt cements gives it a lower susceptibility to the commonly found failures, allowing an increase and a prolongation of the useful life of the pavements developed with this asphalt mixture modified with PVC waste. Unlike the asphalt mix modified with LDPE, which although it shows an improvement in the same evaluated aspects of the PVC mix, with respect to a conventional asphalt mix, it does not achieve a better performance than the PVC modified mix.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento, asfalto modificado, desecho de PVC, desecho de PEBD.

KeyWords: Performance, modified asphalt, PVC waste, LDPE waste.

¹ Derivado del proyecto de investigación: Cementos asfálticos modificados

² Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, luisadanielafp@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-1094-1096>

³ Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, jesusleonardopc@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-1557-4640>

⁴ Ingeniería Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, estudiante, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, maryellipr@ufps.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2243-3961>

INTRODUCCIÓN

El asfalto se define como un material termoplástico, el cual está compuesto por una mezcla de hidrocarburos con una tonalidad café oscuro que tiende a negro, es capaz de unir varios fragmentos y darle una cohesión, siendo así un material aglomerante, el cual puede ser encontrado producto de la destilación del petróleo o en estado natural. Su composición incluye asfáltenos que le proporcionan su color y dureza, mientras que los máltenos le dan su característica cohesiva. Otra de sus características es su versatilidad a un costo asequible, su capacidad le permite adaptarse y ser usado en materiales granulares; esto lo convierte en la opción más económica en la construcción y/o desarrollo de carreteras alrededor del mundo. (Galvis, 2006)

Este compuesto derivado del oro negro es uno de los elementos más usados en la rama ingenieril, con un procedimiento ancestral que no ha llegado a su máxima capacidad en su fabricación o edificación; en el año 2500 a. c en Egipto fue develado el pavimento, que tiene su inicio de la palabra “Sphalto”, con significado de “que deja caer”, para luego significar “que rigidiza o estabiliza” para los griegos, y por último evolucionó al latín y a posteriori al francés y al español, hasta alcanzar al inglés. Anteriormente este compuesto extraído del petróleo, se usaba como junta entre bloques para las edificaciones de la época, además para la impermeabilización en el área naval, la fabricación de pavimentos interiores, entre otros usos. (Utrilla, 2007).

Actualmente en la realización de infraestructuras viales, el cemento asfáltico o asfalto se utiliza con regularidad, convirtiendo su uso en algo importante en la industria, principalmente por sus propiedades tanto químicas como físicas; la pureza, seguridad y consistencia son químicamente las propiedades más importantes, estas le permiten mantener su comportamiento y composición química ante cargas eléctricas, además de permitir la resistencia a altas temperaturas. Por otro lado, la maleabilidad, tolerancia al corte, viscosidad, elasticidad y disminución de masa, hacen parte de las propiedades mecánicas o físicas que acreditan o establecen el alcance de un asfalto y cambian desde su magnitud de disipación de energía, resistencia e incluso su forma. (Mosos et al, 2018).

Así pues, el asfalto a pesar de sus propiedades físico-mecánicas y químicas, no ayuda esencialmente a la resistencia mecánica de la superficie, en dónde esta carga se transmite a las capas inferiores dónde serán disipadas, esto producto del diseño de un pavimento

asfáltico, el cual se rige por su método constructivo, agregados y ligante. Una pavimento o infraestructura vial, dispersa y/o resiste las cargas impuestas por el tránsito, y a su vez este soporta los diferentes climas a los que se expone, sin que estas lleguen a producir desplazamientos en cualquiera de los elementos del pavimento, ocasionando así los tipos de fallas que se pueden encontrar en estos. (Lozano et al., 2020).

Por lo tanto, el comportamiento de los cementos asfálticos en las mezclas asfálticas depende esencialmente de tres factores entre los que se encuentran su viscoelasticidad, su afectación a diversas temperaturas y su envejecimiento con el tiempo; la afectación a diversas temperaturas genera una gran alteración en las propiedades que se presentan en las mezclas asfálticas, al igual que los intervalos con los que es aplicada la carga, haciendo que esta mezcla sea propicia a las deformaciones permanentes. También el comportamiento se ve afectado en la mezcla por el contenido de asfalto y como se presenta la naturaleza de este, que si se hace por encima del porcentaje óptimo reducirá las propiedades mecánicas de la mezcla. (Garnica et al., 2005).

Es así como las fallas de alguno de los componentes de las mezclas asfálticas provocan su deterioro, ya sean el cemento asfáltico o su agregado, provocando como daños principalmente el agrietamiento debido a la fatiga o piel de cocodrilo que se da por la aplicación de esfuerzos más grandes que los del diseño de la mezcla; las deformaciones permanentes creadas debido al cambio de volumen (densificación) o por el flujo plástico (deformación cortante) ya sean de tipo plásticas, consolidación o mecánica y el fracturamiento por temperaturas a los que se ve sometida la mezcla debido a contracciones que se forman en la carpeta por los cambios climáticos. (Medina et al., 2020).

Finalmente, los cementos asfálticos con modificaciones se han desarrollado en los últimos años con el fin de mejorar el desempeño de las propiedades reológicas, físico-mecánicas y químicas de los asfaltos alrededor del mundo. Esta intervención se ha venido utilizando para mejorar la respuesta de los pavimentos a los esfuerzos sobrepuestos, deformaciones y condiciones climáticas a las que son sometidas. No obstante, también se realizan las modificaciones para la prolongación de la vida útil de estos cementos asfálticos, y que estos logren durar más de lo establecido normalmente, así su mantenimiento no tenga un costo tan elevado, como lo sería si este no estuviera modificado en su composición. (Vargas et al., 2010) (Castro et al., 2016).

De esta manera ante los planteamientos anteriores, este trabajo tiene como objetivo comparar los aspectos positivos y negativos producto de la modificación de cementos asfálticos, con argumentos documentados mediante el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio en las ciudades de Bogotá y Medellín, teniendo en cuenta las propiedades químicas, físicas o mecánicas y reológicas de cada uno de los materiales encargados de mejorar las características del asfalto, y el comportamiento que llegan a tener estos para aumentar y/o prolongar la durabilidad o vida útil del asfalto cuándo estos se utilizan como modificadores de los cementos asfálticos.

La modificación de los cementos asfálticos añadiendo polímeros plastómeros (PVC Y PEBD) responden a la necesidad de prolongar y aumentar la durabilidad o vida útil de los asfaltos, esto permitiendo aumentar su capacidad de resistencia a la carga y deformación a altas temperaturas sin alterar sus propiedades ya sean físicas, mecánicas y reológicas, dándole una mayor rigidez al asfalto, minimizando su probabilidad de falla; estos polímeros plastómeros son desechos contaminantes de difícil degradación (alrededor de un siglo) comúnmente encontrados en las basuras, tan solo el 10% son desechos de PVC y PEBD de todas las toneladas de basura generadas en la ciudad de Bogotá, de esta manera la reutilización de estos desechos para modificar cementos asfálticos disminuye su impacto ambiental. (Reyes et al., 2013) (S. Wang et al., 2015).

Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico tiene un diseño resistente a las cargas ejercidas por el tránsito y las afectaciones que puede generar el medio ambiente ya que son muchos los daños que pueden causar al pavimento, para determinar la influencia del medio ambiente en el pavimento se separan cada uno de los componentes (agua, temperatura, rayos ultravioletas, entre otros) y se evalúa la influencia mecánica y química que esto genere sobre el ligante y las mezclas. (Bishara et al., 2000)

Polímeros

Los polímeros se definen como grandes moléculas provenientes de la reacción de otras más pequeñas que definen sus propiedades físicas y que se utilizan para modificar los asfaltos por la gran compatibilidad de sus propiedades tanto físicas como químicas. Existen diversos polímeros, sin embargo, los usados para la variación de asfaltos son los elastómeros

que contribuyen al mejoramiento del asfalto y mezclas asfálticas para obtener mayores valores de rendimiento y durabilidad en los ciclos de carga y descarga. Este material se usa como modificador para reducir su lapso de vida, ya que hay muchas variedades de polímeros que pueden reciclarse como el PVC o PEBD haciendo menor su impacto en el ambiente y aportando en la construcción de pavimentos más sostenibles. (Oner et al., 2018) (Lozano et al., 2020).

PVC

El cloruro de polivinilo (PVC), es un termoplástico utilizado principalmente en tuberías, utensilios domésticos, muebles, tapicería, productos desechables como envases de alimentos y productos farmacéuticos y dispositivos médicos. Debido a su gran demanda por sus propiedades, se generan altas cantidades de residuos de este material. Se ha estimado que desde el inicio del uso generalizado del plástico se han producido 6.300 millones de toneladas de estos materiales y que aproximadamente el 79% de los residuos se depositan en vertederos. Esto podría llevar a que 2,41 millones de toneladas de desechos plásticos terminen en los océanos anualmente. (Giacomucci et al., 2020) (Pardo et al., 2021).

PEBD

El polietileno de baja densidad (LDPE) es un polímero parcialmente cristalino (50-60%), cuya temperatura de fusión está en la región de 110 a 115 °C, con una combinación única propiedades: tenacidad, alta resistencia al impacto, Alta flexibilidad, buena procesabilidad, estabilidad y notables propiedades eléctricas. (Coutinho et al., 2003).

Piel de Cocodrilo

Las fisuras o aberturas producidas por el desgaste de la capa asfáltica o de rodadura, son llamadas piel de cocodrilo, que es producida por la reiterativa acción de las cargas de tráfico impuestas por los vehículos; estas grietas inician primero en el fondo de la capa asfáltica, debido a que en esta zona es dónde se presentan los principales esfuerzos y deformaciones de tensión, propagándose desde el fondo hasta la superficie como grietas longitudinales paralelamente; esto con el tiempo forma polígonos, que estos se parecen a una malla o a la piel de un cocodrilo. La piel de cocodrilo es tomada en cuenta como un daño estructural de consideración, que suele ir acompañado normalmente por un ahuellamiento. (Vásquez, 2006).

Ensayo de índice de penetración

El índice de penetración, se obtiene gracias a el valor de la penetración a 25° C, 100g y cinco segundos junto con el punto de ablandamiento, ambos obtenidos por las condiciones que establece el INVIAS. Este resulta de tomar la temperatura del punto de ablandamiento (anillo y bola) la penetración de un cemento asfáltico es de 800 x 0.1 mm, luego se debe representar en una línea recta los valores de la penetración en función de la temperatura y con una pendiente representada por una ecuación establecida en el manual de ensayos del INVIAS; por último, se debe tomar una penetración de 200x 0.1 mm a 25 °C y un punto de ablandamiento a 40° C para un Ip de cero de un cemento asfaltico. (INVIAS, 2012).

Ensayo de ductilidad

El ensayo busca inducir una probeta con parte del material asfáltico a una prueba de tracción, en un ambiente normalizado de velocidad y de temperatura; esto permitiendo que, al ser sometido en un baño de agua, se entienda su ductilidad como la longitud máxima que se estira la probeta hasta que este alcance su rotura. De esta manera el ensayo brinda la posibilidad de medir las tensiones de los materiales y mirar sí sus propiedades cumplen con las especificaciones técnicas correspondientes. (INVIAS, 2012).

METODOLOGÍA

La metodología que se empleó en este artículo es de tipo cualitativa, la cual se diferencia por centrar un análisis en profundidad de un tema determinado, permitiendo una cercanía de los fenómenos y así ofrecer una información detallada, que propicia la comparación entre el uso de PVC y PEBD; por lo tanto se contrastó mediante el estudio de sus características generales obtenidas a través de los ensayos establecidos por el INVIAS, como, ensayo Marshall en el cual se enfoca en los parámetros de estabilidad y/o firmeza, y relación E/F; el ensayo de deformación permanente y a su vez la obtención del módulo resiliente, además de las características reológicas presentes en ellos, y así saber su viabilidad en el uso respecto a los otros. (Rus, 2021).

RESULTADOS

Mezclas asfálticas modificadas MDC-2, uno con desecho de PVC y otro con desecho PEBD, se analizarán su estabilidad, Relación E/F, su módulo resiliente y su deformación permanente.

Tabla 1 - Análisis de la estabilidad de los cementos asfálticos modificados.

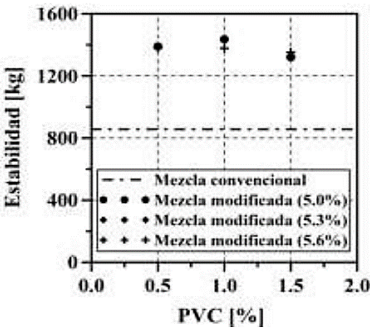
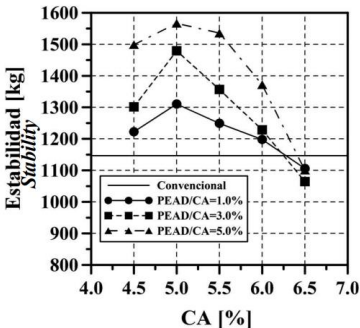
ARTÍCULO	PARÁMETRO Estabilidad
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PVC	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra un incremento de estabilidad del 68%, cuando se le adiciona un 5,0% de PVC.  Gráfica 1. Estabilidad PVC. Fuente: Rondón y Reyes 2011.
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PEBD	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra un incremento de estabilidad del 36%, cuando se le adiciona un 5,0% de PEBD.  Gráfica 2. Estabilidad PEBD. Fuente: Rondón, William y Castro 2010.
Analisis	El PVC logra presentar un mayor incremento de estabilidad que el mostrado por el PEBD, cuando a este se le es adicionado un 5.0% de PVC, permitiendo así que este logre presentar y mantener su forma y lisura antes las cargas ciclicas. Este muestra una diferencia de un 32% respecto al PEBD. Así mismo, se logra observar que la adición de un desecho de PVC o un desecho de PEBD a una mezcla asfáltica, logra superar en ambos casos el umbral de la estabilidad que puede llegar a alcanzar una mezcla asfáltica convencional en la región Colombiana.

Tabla 2 - Análisis de la relación E/F de los cementos asfálticos modificados.

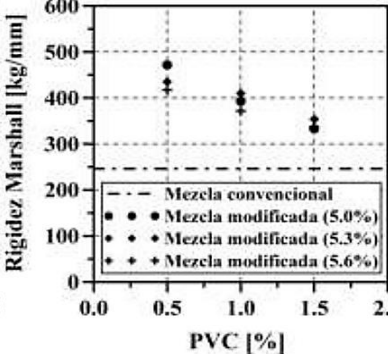
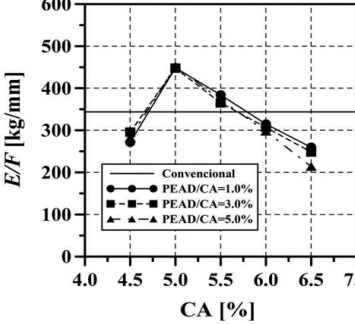
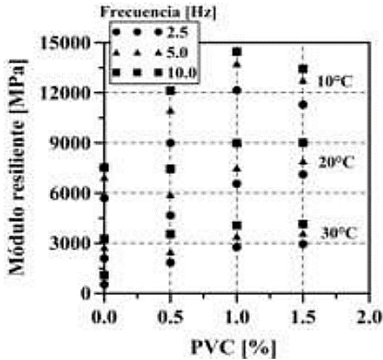
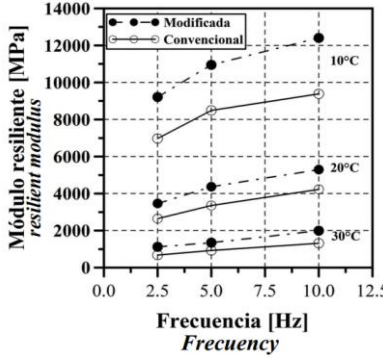
ARTÍCULO	PARÁMETRO Relacion E/F
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PVC	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra un incremento de la relacion E/F del 92%, cuando se le adiciona un 5,0% de PVC.  Gráfica 3. E/F PVC. Fuente: Rondón y Reyes 2011.
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PEBD	La mazcla asfáltica MDC-2 muestra un incremento de la relacion E/F del 24%, cuando se le adiciona un 5,0% de PEBD.  Gráfica 4. E/F PEBD. Fuente: Rondón, William y Castro 2010.
Análisis	En el artículo "<i>Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de PEBD</i>", El PEBD presenta un mayor incremento en la relación E/F con un 5.0% o un 5.5%, a diferencia de mezclas con un 4.5% o 6.0% de PEBD, en las cuales, estas no superan el umbral de relación E/F de una mezcla asfáltica convencional; es así, como la mayor relación E/F es presentada en una mezcla asfáltica con un 5.0% de PEBD; sin embargo, este no logra presentar un mayor incremento que el PVC, el cual tiene una relación E/F del 92%.

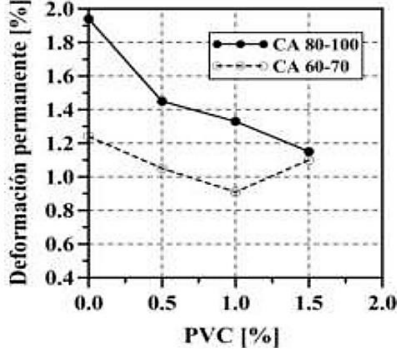
Tabla 3 - Análisis del módulo resiliente de los cementos asfálticos modificados.

ARTÍCULO		PARÁMETRO
		Modulo resiliente
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PVC	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra un incremento de módulo resliente del 67% al 334%, cuando tiene una temperatura de 30°C.	
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PEBD	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra un incremento de módulo resliente del 25% al 65%, cuando tiene una temperatura de 30°C.	

Analisis

De acuerdo a las tres muestras ensayadas en el laboratorio, sometidas a las mismas frecuencias de carga, se logra determinar que las mezclas asfálticas modificadas MDC-2, superan los valores de módulo resiliente que se obtienen de una mezcla asfáltica convencional a temperaturas de 10°C, 20°C y 30°C. Para la mezcla modificada MDC-2 con desecho de PVC, esta obtiene un incremento del 67% al 334% a 30°C de temperatura, esto nos permite indicar que la calidad relativa de los materiales es mayor que la del PEBD.

Tabla 4 - Análisis de la deformación permanente de los cementos asfálticos modificados.

ARTÍCULO		PARÁMETRO
		Deformacion permanente
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PVC	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra una disminución a la deformación permanente entre 25% al 41%.	 Gráfica 7. Deformación permanente PVC. Fuente: Rondón y Reyes 2011.
EVALUACION DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE MODIFICADA CON UN DESECHO PEBD	La mezcla asfáltica MDC-2 muestra una disminución a la deformación permanente del 40%.	
Análisis	En el artículo "<i>Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de PVC</i>", El PVC presenta una menor disminución a la deformación que el mostrado por el PEBD, debido a que la adición de PVC entre 0.5% y 3.5% mostrando una deformación entre el 25% al 41% , presentando este, unos intervalos de menor porcentaje al del PEBD. Es decir, la disminución de la deformación permanente en la mezcla asfáltica permite tener una planeación, desarrollo y una construcción del pavimento, con menores costos economicos.	

DISCUSIÓN

Los efectos prácticos de las mezclas asfálticas modificadas con desecho de PVC, parten de la selección del cemento asfáltico CA 80-100, y este al ser alterado, produce una

mezcla asfáltica modificada MDC-2. Imponiendo cargas monotónicas a las mezclas asfálticas, y aplicándole a estas, pruebas y/o ensayos Marshall y de penetración con temperaturas distintas, pretende estimarse la resistencia mecánica; a su vez, el módulo resiliente fue extraído con tres muestras, cada una a distinta temperatura (de 10 a 30°C) y tres frecuencias de carga distintas (2,5; 5,0 y 10,0), probadas bajo carga cíclica en tracción indirecta. Y, además, fueron puestas a prueba tres muestras, bajo un valor de 100 kPa y 3600 periodos de carga, para la realización del ensayo de deformación permanente.

Así mismo; modificando por igual un cemento asfáltico CA 80-100, se obtuvieron los resultados experimentales de las mezclas asfálticas modificadas MDC-2 con desecho de PEBD; en dónde se evaluó la tolerancia mecánica bajo carga monotónica, realizando el ensayo Marshall. El módulo resiliente fue conseguido por medio de tres muestras, cada una a diferentes temperaturas (desde 10°C a 30°C) y diferentes frecuencias de carga (2,5 Hz; 5,0 Hz y 10,0 Hz), ensayadas bajo carga cíclica en tracción indirecta. Adicionalmente, fueron puestas a prueba tres muestras, bajo un trabajo de 100 kPa y 3600 periodos de carga, para la realización del ensayo de deformación permanente.

CONCLUSIÓN

Finalmente, la modificación del cemento asfáltico CA 80-100, junto con la adición del desecho de PVC conforman una mezcla asfáltica MDC-2, la cual indica unos mejores resultados en los ensayos que la muestra modificada con desecho PEBD, ambos sometidos a los mismos ensayos con iguales variables de estudios, tanto temperatura, frecuencias y cargas aplicadas. La mezcla asfáltica modificada MDC-2 con desecho de PVC, muestra una mejor resistencia mecánica que le permita al pavimento conservar su forma y no deformarse fácilmente antes las cargas monotónicas; también muestra un mayor módulo resiliente a temperaturas comúnmente encontrada en gran parte del país, lo que permitirá determinar la calidad relativa de los materiales; la mezcla asfáltica modificada muestra una mejor resistencia a la deformación bajos los ciclos de carga a los que fue sometido.

Así mismo, ante todo lo anteriormente citado, otorga, que la Mezcla asfáltica modificada MDC-2 con desperdicio de PVC tiene una mayor viabilidad para ser empleada en Colombia, lo que permitiría que la gran cantidad de desechos plásticos usados y desechados en las diferentes regiones del país, sirvan para la construcción y/o elaboración de

nuevos pavimentos asfálticos modificados. En donde estos, logran ganar unas mejores propiedades mecánicas, químicas y reológicas que permitan una mejor tolerancia o una menor susceptibilidad a las fallas comúnmente encontradas en los pavimentos actuales; en otras palabras, logran extender, aumentar y/o prolongar la vida útil de los pavimentos que se desarrollen o se realicen con este desecho de PVC.

REFERENCIAS

Galvis Ariza, R. (2006). Mezclas asfálticas y patología de las mismas (trabajo de grado). Universidad del Quindío, Armenia, Colombia. <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/5947/FINAL%20DE%20PASANTI A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De la Fuente Utrilla, A. (2007). Diseño de una mezcla asfáltica de alto rendimiento para baches superficiales y profundos: tramo carretero Villahermosa - Teapa. (Tesis Licenciatura). Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Puebla. Retrieved from Bibliotecas UDLAP: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_l_a/

Mosos, A. A. F., Mosos, G. C. A., & Gómez, M. J. H., (2018). Estudio de asfaltos y mezclas asfálticas modificadas con aceite residual de motor. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Especialización en Ingeniería de Pavimentos. Bogotá, Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/22533>

Lozano Castellanos, I. C., & Reyes Tafur, C. A. (2020). Evaluación del comportamiento de un asfalto modificado con Policloruro de Vinilo (PVC) y Grano de Caucho Reciclado (GCR) (Trabajo de grado). Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia. <https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1881/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>

Garnica Anguas, P., Flores Flores, M., Gómez López, J. A., & Delgado Alamilla, H. D. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>

Medina, L., Muniz de Farias, M., & Recarey, C. (2020). Evaluación reológica y mecánica de un aglutinante asfáltico modificado por polímeros. *Revista ingeniería de construcción*, 35(2), 170-181. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000200170>.

Vargas, Xiomara, & Reyes, Freddy. (2010). El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 27-44. Consultado el 21 de abril de 2022 en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092010000300003&lng=en&tlng=es.

Castro López, William Andrés, Rondón Quintana, Hugo Alexander, & Barrero Calixto, Juan Carlos. (2016). Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEBD. *Ingeniería*, 21(1), 7-18. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.1.a01>

Reyes Lizcano, Fredy Alberto, Guáqueta Echeona, Catalina, Porras Salcedo, Laura Melissa, & Rondón Quintana, Hugo Alexander. (2013). COMPORTAMIENTO DE UN CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON UN DESECHO DE PVC. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 12(22), 75-84. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242013000100007&lang=es

S. Wang, Q. Wang, X. Wu and Y. Zhang, "Asphalt modified by thermoplastic elastomer based on recycled rubber". *Construction and Building Materials*, Volume 93, 2015, pp. 678-684. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815300027>

Rondón Quintana, Hugo Alexander, & Reyes Lizcano, Fredy Alberto. (2012). Evaluación de los parámetros mecánicos de una mezcla asfáltica sometida a las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá D.C. *Revista ingeniería de construcción*, 27(1), 57-74. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000100004>

Oner, Julide, & Sengoz, Burak. (2018). Effect of polymers on rheological properties of waxy bitumens. *Revista de la construcción*, 17(2), 279-295. <https://dx.doi.org/10.7764/rdlc.17.2.279>

Lozano, Diego Andrés, Molina-Gómez, Fausto, Ruge, Juan Carlos, Moreno-Anselmi, Luis Ángel, & Bastidas-Martínez, Juan Gabriel. (2020). Asphalts and modified dense asphalt

mixtures with rubber of military boots. *DYNA*, 87(212), 120-128.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v87n212.78135>

Giacomucci, L., Raddadi, N., Soccio, M., Lotti, N., & Fava, F. (2020). Biodegradation of polyvinyl chloride plastic films by enriched anaerobic marine consortia. *Marine Environmental Research*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104949>

Pardo-Rodríguez, María Luisa, & Zorro-Mateus, Patricia Joyce Pamela. (2021). Biodegradation of polyvinyl chloride by *Mucor* s.p. and *Penicillium* s.p. isolated from soil. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(2), 387-399. Epub September 16, 2021. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n2.2021.12763>

Coutinho, F. M. B., Mello, I. L., & Santa Maria, L. C. (2003). Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47043582009>

Vásquez Varela. (2006). PAVEMENT CONDITION INDEX *PCI*, Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

Instituto Nacional de Vías – INVIAS, (2012). *NORMAS Y ESPECIFICACIONES*, “Norma INV E- 724-13” Bogotá D.C., Colombia.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS, (2012). *NORMAS Y ESPECIFICACIONES*, “Norma INV E- 702-13” Bogotá D.C., Colombia.

Rus Enrique Arias. (2021). Investigación cualitativa. *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-cualitativa.html>

Rondón Quintana, Hugo, Fernández Gómez, Wilmar, & Castro López, William. (2010). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD). *Revista ingeniería de construcción*, 25(1), 83-94. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000100004>

Rondón-Quintana, Hugo A., & Reyes-Lizcano, Fredy A.. (2011). Evaluación de las Propiedades Mecánicas de una Mezcla Densa en Caliente Modificada con un Desecho de PVC. *TecnoLógicas*, (27), 11-31. Retrieved June 21, 2022, from

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012377992011000200002&lng=en&tlng=es.