

MONOGRAFÍA
REVISIÓN TEÓRICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON
POLÍMEROS EN COLOMBIA



Por:

Carlos Alberto Martínez Henao



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

MONOGRAFÍA
REVISIÓN TEÓRICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON
POLÍMEROS EN COLOMBIA



Por:

Carlos Alberto Martínez Henao

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de
ingeniero civil

Aprobado por:

I.C. Jessica Ramírez Cuello, M.Sc

Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades académicas

P. José Gabriel Mesa Angulo, O. P.

Rector General

P. Eduardo González Gil, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón.

Decano Facultad de Ingeniería Civil

A Dios, a mi hija, esposa y familia que siempre han estado ahí, que me acompañan y me dan el privilegio de aprender y disfrutar de ellos enseñándome que lo más importante es la familia.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción	10
Planteamiento del problema.....	11
Objetivos	13
Objetivo general	13
Objetivo específico	13
Justificación	14
Metodología	15
Marco de referencia	16
Marco teórico	16
Estado del arte.....	16
Marco normativo.....	18
Conceptos Generales.....	19
<i>Asfalto</i>	19
Características de mezclas Asfálticas Modificadas	21
Estabilidad	23
Impermeabilidad.....	23
Durabilidad	23
Trabajabilidad	23
Flexibilidad.....	23
Resistencia a la fatiga	24
Resistencia al deslizamiento	24
Polímeros	24
Asfaltos modificados.....	26
Modificador con polímeros	26
Utilización de polímero como modificador.....	27
Ventajas y desventajas de los polímeros en la modificación de las mezclas asfálticas.....	31
Desventajas de los asfaltos modificados	34
Proyectos implementados de asfaltos modificados en Colombia.....	36
Conclusiones	38
Recomendaciones	40
Bibliografía.....	41

Lista de figuras

Figura 1 Propiedades Reológicas de los Asfaltos	21
Figura 2 Características de las Mezclas Modificadas.....	22
Figura 3 Mezcla asfáltica modificada.....	22
Figura 4 Tipos de Polímeros	24
Figura 5 <i>Resultados efectos de plásticos en Bitumen</i>	27
Figura 6 <i>Objetivo de la modificación de asfaltos</i>	28
Figura 7 <i>Susceptibilidad termina Betún convencional y uno ideal</i>	29
Figura 8 Curva tensión - deformación	30
Figura 9 <i>Diferencias Asfaltos convencionales y asfalto modificado con polímeros</i>	31
Figura 10 <i>Ventajas de los Polímeros</i>	32
Figura 11 <i>Relación Costo- Tiempo</i>	35

Lista de tablas

Tabla 1 Metodología.....	15
Tabla 2 Marco Normativo.....	18
Tabla 3 Propiedades Físicas de los asfaltos	19
Tabla 4 Efectos de los plásticos con el bitumen.....	26
Tabla 5. Ventajas de asfaltos modificados	33
Tabla 6 Ventajas y desventajas de polímeros	36

Resumen

La monografía sintetiza y tiene como objetivo realizar una revisión teórica acerca de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en Colombia definiendo ventajas y desventajas de los diferentes polímeros utilizados además de determinar los proyectos en los cuales se han intervenido en Colombia.

De ese modo se identifican las principales características que presentan los asfaltos modificados, sus propiedades y condiciones, definiciones y conceptos generales tanto de los asfaltos como los polímeros, además de la relación que ambos tienen respecto a una mezcla convencional y una modificada.

Adicionalmente, se identifican las diferentes ventajas y desventajas, obteniendo como resultado, un alto rendimiento de este tipo de mezclas modificadas con la observación de su alto costo inicial pero mínimo en una proyección a largo plazo. También se identifica que es muy limitado la cantidad de proyectos que hoy por hoy en Colombia desarrollan este tipo de tecnología, de modo que se recomienda no solo continuar con este tipo de trabajos, sino una aplicación que venga desde las entidades del estado para la implementación en los contratos gubernamentales y con esto, se impulse el desarrollo de las mezclas asfálticas con polímeros, lo que a su vez disminuiría el impacto ambiental en re implementación de estos materiales.

Palabras clave: aplicaciones, mezclas asfálticas, polímeros, propiedades, ventajas.

Abstract

The monograph synthesizes and aims to carry out a theoretical review about asphalt mixtures modified with polymers in Colombia, defining advantages and disadvantages of the different polymers used in addition to determining the projects in which they have been intervened in Colombia.

In this way, the main characteristics of modified asphalts, their properties and conditions, definitions and general concepts of both asphalts and polymers are identified, in addition to the relationship that both have with respect to a conventional and a modified mixture.

Additionally, the different advantages and disadvantages are identified, obtaining as a result, a high performance of this type of modified mixtures with the observation of its high initial cost but minimum in a long-term projection. It is also identified that the number of projects that today in Colombia develop this type of technology is very limited, so it is recommended not only to continue with this type of work, but also an application that comes from state entities for the implementation in government contracts and with this, the development of asphalt mixtures with polymers is promoted, which in turn would reduce the environmental impact in re-implementation of these materials.

Keywords: advantages, applications, asphalt mixtures, polymers, properties.

Introducción

La necesidad por satisfacer los requerimientos que hoy en día tienen los proyectos viales, hace necesario este tipo de documentos donde se motiva y se incentiva este conocimiento a partir de la revisión teórica acerca de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en Colombia. Siendo los proyectos viales un factor de suma importancia para el desarrollo económico y en general de cualquier región. Por tanto, la monografía pretende determinar las características principales que presentan los asfaltos modificados a través de la definición de conceptos generales como es asfalto, las mezclas modificadas, características como durabilidad estabilidad, impermeabilidad, entre otras que definen a este tipo de mezclas.

Adicional se presenta un apartado de los polimeros, los cuales se definen y a su vez se categoriza de acuerdo al tipo, definiendo las ventajas que tienen cada uno de estos por si solos al emplearse en una mezcla asfáltica modificada y es que la importancia de esto recae además en la generacion de desechos y residuos plasticos generando afectación ambiental de modo que es necesario su reutilización a través de alternativas que impulsen su aprovechamiento. Que no solo se ve reflejado desde el punto de vista ambiental si no a partir de todas ventajas que este material en las diferentes mezclas.

De igual manera, las aplicaciones en los proyectos hoy en día son muy limitadas, afirmando la necesidad de aplicar tecnologías contractivas mediante la solución de modificar el asfalto y con los beneficios que permite el asfalto como mayores periodos de diseño, mejora en las propiedades y una mayor vida útil respecto a los asfaltos convencionales.

De acuerdo a lo anterior la monografía enmarca un espacio en la investigación, actualización y recopilación de la información referente con la responsabilidad que tenemos con ingenieros civiles. Considerando las fallas que en la actualidad se presentan en la malla vial de Colombia y mostrando como alternativa de solución para este problema gracias a los asfaltos modificados con polímeros.

Planteamiento del problema

En Colombia son múltiples los proyectos viales que se vienen desarrollando a lo largo y ancho del país donde se han integrado diferentes tipos de pavimentos y mezclas asfálticas según el contexto y necesidades que se presenten. A lo largo del tiempo se han visto los proyectos viales como una manera de activar la economía y progreso en la mayoría de regiones, también se ha generado una imagen negativa debido a que en el momento de la implementación y realización de estos proyectos se impacta negativamente el medio ambiente, generando múltiples residuos sólidos, aumentando el uso de materia prima y demás materiales. Por este motivo se ha venido investigando en el uso de materiales reciclados como polímeros en diferentes proyectos viales del país y según datos de la superintendencia de servicios públicos en Colombia en el año 2017 se generaron 10.3 millones de toneladas de residuos sólidos (Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP), 2019). En promedio, según el DANE en Colombia dispuso alrededor de 30.081 Ton/día de residuos sólidos. La cifra promedio de generación de residuos sólidos en un hogar colombiano es de 4.3 Kg/día (Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP), 2019).

El asfalto constituye uno de los materiales más usados por la humanidad; según Ecopetrol, además de permitir su aplicación en la pavimentación de carreteras, también aporta economía y versatilidad en el campo vial. La veracidad de esto es el hecho de que el 96% de la red vial de Estados Unidos, el 70% de las vías de Colombia y el 35% de las vías en Bogotá fueron construidos en asfalto (Atencia Herrera, Daza Velásquez, Figueroa Infante, Fernández Gómez, & Reyes Lizcano, 2013).

Sin embargo, resultados del envejecimiento acelerado obtenido mediante simulación en el laboratorio de agentes ambientales y el paso del tiempo demuestran la susceptibilidad de este material a la intemperie, perdiendo así sus cualidades, funcionalidad y posterior durabilidad; se concluye que el principal causante del deterioro es el proceso de oxidación (envejecimiento por inclusión de oxígeno), el cual es ocasionado por agentes como agua, rayos UVB y UVA, temperatura, tráfico y cargas (Atencia Herrera, Daza Velásquez, Figueroa Infante, Fernández Gómez, & Reyes Lizcano, 2013).

En Colombia únicamente el 17% de todos los residuos sólidos incluyendo los plásticos son reciclados, razón por la cual esta visión de economía circular y de un manejo adecuado de los residuos debe ir más allá de la disposición adecuada (Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP), 2019). Es necesario lograr en diferentes proyectos el uso o reutilización de estos materiales reciclables como plásticos, grano de caucho, polietileno y polímeros en general, para

que permita incrementar la inclusión de estos materiales en las obras civiles teniendo una gran afectación ya que como muestran las cifras gran parte de los materiales que se reciclan no son aprovechados.

Con base a esta problemática se puede observar la gran cantidad de residuos sólidos generados en el país y la gran afectación ambiental que esto conlleva, ya que la mayoría de estos residuos no cuentan con un esquema completo de disposición de residuos terminando así en las calles de las ciudades, ríos y diferentes cuerpos hídricos, mares y océanos, incinerados de manera clandestina, etc.

Objetivos

Objetivo general

Realizar una revisión teórica acerca de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en Colombia

Objetivo específico

- Definir las principales características que presentan los asfaltos modificados con polímeros.
- Identificar los principales proyectos donde se han utilizado asfaltos modificados con polímeros en los últimos años en Colombia.
- Definir las ventajas y desventajas de los polímeros en la modificación de las mezclas asfálticas frente a las convencionales.

Justificación

En Colombia, los desarrollos investigativos en el área de los asfaltos modificados son extensos en comparación con la cantidad de estructuras de pavimentos flexibles construidas con esta tecnología (Rondón et al., 2007). Diferentes estudios, describen como la adición de polímeros al asfalto modifican las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. El uso de esta tecnología ha sido implementado cuando es necesario que la Superficie de la carretera tenga una vida útil más larga de lo normal o en aplicaciones especializadas que permiten espesores más delgados de capas asfálticas o disminuir dichos espesores (Casey et al., 2008).

Este tipo de aditivos mejoran también el comportamiento resilientes de las mezclas cuando son solicitadas a ciclos de carga y descarga. Existen polímeros que al ser adicionados al asfalto rigidizan la mezcla asfáltica y por lo general aumentan el grado de funcionamiento de esta a altas temperaturas de servicio. Algunos polímeros pueden ser reciclados y agregados a otros materiales a altas temperaturas sin perder significativamente sus propiedades. En los últimos años se ha incrementado el uso de materiales de desecho o de reciclaje como aditivos modificadores de asfaltos (Rondón et al., 2015).

Por lo tanto, se pretende determinar los estudios realizados en Colombia sobre asfaltos modificados con polímeros, así como las características principales que estos mejoran en cuanto a la plasticidad, cohesión, elasticidad, resistencia al agua, resistencia al envejecimiento u otras. Adicional, se planea identificar cuáles de estos polímeros son los más utilizados en las modificaciones de asfaltos en el país y por ultimo presentar las ventajas y desventajas que presentan frente al uso de los asfaltos convencionales, comparando así la afectación al medio ambiente y beneficios técnicos con su uso.

Metodología

La metodología que se pretende en la monografía principalmente es de carácter cualitativo debido a que se basa en recopilar, sintetizar información, dentro de un marco de los suelos asfálticos y con la que se pretende dar cumplimiento a los objetivos planteados en el presente documento. De esta manera se compone de manera discriminada en la siguiente tabla que describe el objetivo, la actividad, descripción y actores que incluyen el desarrollo de cada uno de estos.

Tabla 1 Metodología

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Definir las características principales que presentan los asfaltos modificados con polímeros.	Mediante sitios web determinar en los diferentes estudios que se han realizado cuales son las principales características que se encuentran en los asfaltos modificados con polímeros.	Los sitios web permiten encontrar información importante sobre las características que desarrollan el uso de asfaltos modificados con polímeros.	Estudios Investigaciones Trabajos de grado Tesis Monografías de diferentes instituciones educativas o fuentes informativas verificadas.
Identificar los principales proyectos donde se han utilizado asfaltos modificados con polímeros en los últimos años en Colombia.	Realizar una revisión de los principales proyectos viales ejecutados en Colombia e Identificar en que proyectos se utilizan asfaltos modificados con polímeros.	Las diferentes fuentes de información permitirán identificar los proyectos con aplicación en asfaltos modificados con polímeros en Colombia.	Estudios Investigaciones Trabajos de grado Tesis Monografías de diferentes instituciones educativas o fuentes informativas verificadas.
Definir las ventajas y desventajas de los polímeros en la modificación de las mezclas asfálticas frente a las convencionales.	Mediante el análisis de las características obtenidas en los proyectos, redactar las ventajas y desventajas que se presentan en el uso de asfaltos modificados con polímeros frente a asfaltos convencionales.	La comparación entre los diferentes proyectos y los múltiples datos encontrados permitirá generar un concepto claro del aporte de los asfaltos modificados con polímeros en los proyectos.	Estudios Investigaciones Trabajos de grado Tesis Monografías de diferentes instituciones educativas o fuentes informativas verificadas.

Marco de referencia

Marco teórico

Se considera pavimento a la unión de diferentes capas de materiales, las cuales reciben cargas de tránsito de forma directa, estas además las transmiten a los estratos de las capas inferiores en magnitudes inferiores debido a que estas se logran disipar, y con esto proporcionar una superficie de rodamiento.

El pavimento está condicionado por diferentes aspectos como su diseño, el tránsito uso y la resistencia que debe tener con el fin de soportar y disipar los esfuerzos ocasionados por el tránsito de vehículos y condiciones climáticas. (Aldana Perdomo & Acosta Velásquez, 2014)

En Colombia, en la actualidad existen diferentes aplicaciones en cuanto a la investigación y el desarrollo como tal de mezclas asfálticas pues estas son extensas, sin embargo, con menores a las realmente construidas con dicha tecnología.

De acuerdo a lo anterior, la monografía busca en la definición de las diferentes características de los asfaltos modificados, las ventajas que estos contienen y los diferentes proyectos donde se han empleado este tipo de asfaltos.

Estado del arte

La modificación de asfaltos ha sido ampliamente estudiada las últimas décadas a nivel nacional, evaluando diferentes características en el material y obteniendo resultados que garantizan mejoras en el comportamiento del mismo al ser implementados en los pavimentos.

Según Cabezas (2020) en su proyecto “Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 Modificado con desechos de polietileno de alta densidad” plantea que existe un atraso presente en Colombia en cuanto a infraestructura vial, de modo que pretende realizar una caracterización física de un asfalto modificado con polímero, producto de desechos no biodegradables, lo cual mejora el comportamiento del asfalto a altas y bajas temperaturas, generando un impacto positivo en el medio ambiente dándole un adecuado manejo y reutilización. Dicha investigación se centró en evaluar las características físicas de un asfalto 60/70, realizando pruebas de laboratorio con diferentes dosificaciones con el fin de medir su rendimiento.

Además, los resultados indican que el asfalto con más del 8% de desechos de polietileno de alta densidad disminuye la penetración del material, lo que genera un asfalto más rígido, pero

con menos manejabilidad. Además, el punto de ablandamiento es menor que el asfalto convencional.

Por otra parte, es necesario el cumplimiento de la normativa vigente que de acuerdo a Avellan (2017), propone como el uso de polímeros para la modificación de asfaltos disminuye la susceptibilidad térmica de este, mejorando también la deformación plástica de una mezcla asfáltica y sus propiedades físico-mecánicas como aumentar el ablandamiento y disminuir la penetración. Y en eso coincide Mejía & Sierra (2017) donde determinaron que el mejor comportamiento de acuerdo a las especificaciones de la norma INVÍAS 2013 es el polietileno para el caso de temperaturas altas, debido a que presenta mayor resistencia al ahuellamiento y capacidad de carga, por su parte el PVC presenta mejor estabilidad, rigidez, resistencia al ahuellamiento y diferentes temperaturas. Además, la incorporación en el asfalto de polímeros mejora las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos reduciendo las deformaciones en las capas, aumentando la rigidez. (Acosta Mejía & Herrera López, 2016)

Un punto económico es que este hace algo costoso su inversión inicial en diferencia al convencional, pero a largo plazo resulta una inversión menor.

Adicional a lo anterior (Lopez Moncada, 2015) determinó que el factor del tiempo es el más influyente a tener en cuenta debido a que con este se pierden sus propiedades mecánicas y generando problemas de deformaciones, fatiga.

Sin embargo, el uso de polímeros aumenta la rigidez de la misma y controla de manera considerable una de las patologías que se deben tener en cuenta en pavimentos, el ahuellamiento. Algo que demostró (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014) como en el diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos y estas a su vez presentan mejores resultados en durabilidad respecto a las convencionales, los autores pretenden diseñar una mezcla con desperdicios de plásticos como solución a problemática de malla vial y solución ambiental.

A partir de los parámetros MARSHALL determinan la estabilidad, flujo y peso unitario de la mezcla junto con el módulo de rigidez para los desperdicios de plástico, definiendo los porcentajes para su óptimo desarrollo, mejorando las propiedades mecánicas aumentando la durabilidad afectada por agentes externos.

Es importante mencionar que se debe tener en cuenta en el momento de los cambios que sufren las mezclas asfálticas en el diseño son inicialmente factores relevantes en el diseño del pavimento como el tránsito, la caracterización de los agregados de la mezcla y las condiciones de los polímeros, concluyendo que son más resistentes por daño por fatiga. El cual tiene grandes utilidades, como el aumento de adherencia, mejora de la elasticidad, reducción de la figuración, aumenta la durabilidad al tener mayor elasticidad. Así como disminuir la susceptibilidad térmica

Marco normativo

Es este apartado es importante mencionar que en un principio los asfaltos modificados, fueron utilizados como impermeabilizantes y posteriormente como pavimento, con el fin de analizarlo y desarrollarlo en las condiciones óptimas, de acuerdo a esto, las normativas que regula los asfalto se dan a partir de diferentes entidades que no solo definen los índices de calidad si no las condiciones y requerimientos que se deben tener en cuenta con este tipo de materiales.

Dichas entidades se presentan en la figura a continuación:

Tabla 2 Marco Normativo

Norma	Descripción
Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Implementación de materiales reciclables en el desarrollo de obras civiles
Ministerio de transporte	Implementación de materiales reciclables en el desarrollo de obras civiles
Instituto nacional de vías.	Especificaciones técnicas de asfaltos.
Agencia nacional de infraestructura	Desarrollo de proyectos viales
Departamento Nacional de planeación	Desarrollo de proyectos Viales
Fondo financiero de proyectos de desarrollo	Desarrollo de proyectos Viales

Nota: Por Henao, 2021 a partir de (Aldana Perdomo & Acosta Velásquez, 2014).

Adicional y puntualmente las normas que contemplan la conservación del medio ambiente la implementación de materiales reciclables tales como:

- Ley 99 de 1993: Ley general ambiental de Colombia
- Decreto 154 de 1998 donde se publica el Catalogo de residuos
- La política de gestión ambiental en Colombia de 2002 dada por el ministerio de ambiente
- Resolución 0754 de 2014 donde se adopta la metodología para la gestión integrar de residuos solidos
- Resolución 0472 de 2017: reglamentación de residuos en actividades de construcción y disposición
- Capítulo 4 Norma Invias Articulo 400 – 466 donde puntualmente se habla del suministro de cemento asfaltico modificado con polímeros (articulo 415)

Conceptos Generales

Asfalto

Se denomina asfalto al material bituminoso principalmente de color negro, el cual está constituido por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad (Wuff,2008), este a su vez puede ser solido o semisólido, además tiene propiedades cementantes a temperatura ambiente.

Mezcla asfáltica modificada.

Con el fin de mitigar los impactos ambientales, y la necesidad por mejorar los procesos de los derivados con el petróleo, diferentes investigaciones han centrado su conocimiento en identificar el mejoramiento de mezclas asfálticas con el uso modificadores, sin que estas pierdan sus propiedades físicas o reológicas.

Propiedades físicas

Dentro de las propiedades físicas que se tienen en cuenta para la construcción, diseño y mantenimiento de pavimentos se muestran en la figura 2:

Tabla 3 Propiedades Físicas de los asfaltos

Propiedad	Descripción
Durabilidad	Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.
Adhesión	Es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación
Cohesión	Es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.
Susceptibilidad a la temperatura	Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros a medida que su temperatura disminuye, y más blandos a medida que su temperatura aumenta.
Endurecimiento y envejecimiento	Causado principalmente por el proceso de oxidación, el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto.

Nota: por Heano,2021. A partir de (Mejía Umbarila & Sierra Hernández, 2017)

Propiedades reológicas

Las propiedades reológicas son la capacidad que tiene el asfalto para soportar las cargas de tránsito, tomando como variable, la deformación y el flujo, estas propiedades se analizan a partir de ciertos ensayos de laboratorios que de acuerdo al INVIA (2013) propone y se muestran a continuación.

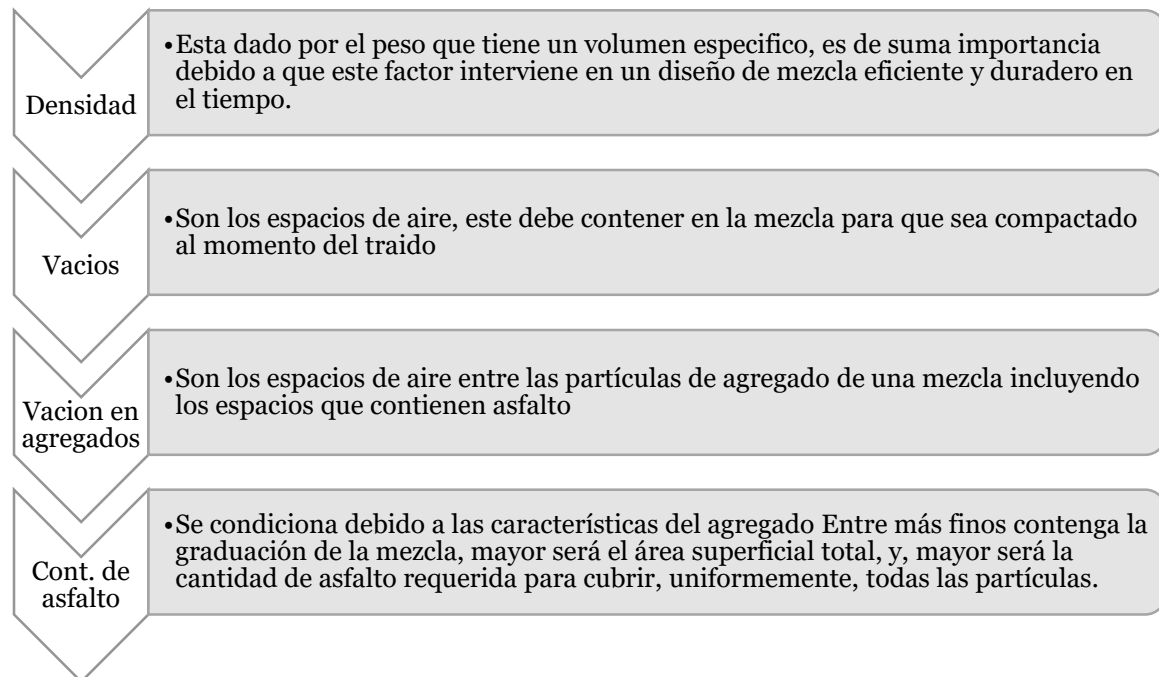
Figura 1 Propiedades Reológicas de los Asfaltos

Nota: por Heano,2021. A partir de (Mejia Umbarila & Sierra Hernández, 2017)

Características de mezclas Asfálticas Modificadas

Por lo general, las mezclas asfálticas, son analizadas en laboratorios, y con esto se pretende determinar el desempeño de la estructura diseñada, este está dado principalmente a analizar el comportamiento de la mezcla y se analizan las siguientes características

- Densidad
- Vacíos
- Vacíos en los agregados
- Contenido de asfalto

Figura 2 Características de las Mezclas Modificadas

Nota: por Heano,2021. A partir de (Mejia Umbarila & Sierra Hernández, 2017)

Figura 3 Mezcla asfáltica modificada

Nota: Por MPI asfaltos (2020)

Por su parte es necesario tener en cuenta ciertas características consideradas para el diseño de mezclas, las cuales deben ajustarse de acuerdo a los diferentes proyectos que lo demanden

Estabilidad

Capacidad para oponerse a deformaciones y desplazamientos, provenientes de las cargas de tránsito, manteniendo su forma en la repetición de cargas, sin desarrollar, ondulaciones o ahuellamiento (Velazques Castañeda, 2017).

Impermeabilidad

Resistencia al paso de aire o agua hacia el interior de la estructura o a través de ella, depende mucho de la relación de vacíos y de la compactación de la mezcla (Velazques Castañeda, 2017)

Durabilidad

Es la habilidad que tiene el pavimento para oponerse y aguantar a factores como la desintegración del agregado, la separación de la capa de rodadura del asfalto además de cambios en propiedades como la oxidación y polimerización. (Velazques Castañeda, 2017)

Trabajabilidad

Es la capacidad manejabilidad de que la mezcla puede ser colocada y compactada, esta es mejorada usualmente con los tipos de agregados y la granulometría de los mismos. (Velazques Castañeda, 2017)

Flexibilidad

Cuando un pavimento tiene la capacidad para acomodarse a su estado natural sin que este se altere, se conoce como la flexibilidad. Es una característica deseable, pero debe controlarse y no excederse a los requerimientos permitidos (Velazques Castañeda, 2017)

Resistencia a la fatiga

La resistencia a la repetición de cargas a flexión por el tránsito es conocido como la fatiga, es un factor que se deteriora cuando el pavimento está endurecido o envejecido, además puede ocasionarse cuando el porcentaje de vacíos aumenta o su ausencia de la compactación adecuada. (Velazques Castañeda, 2017)

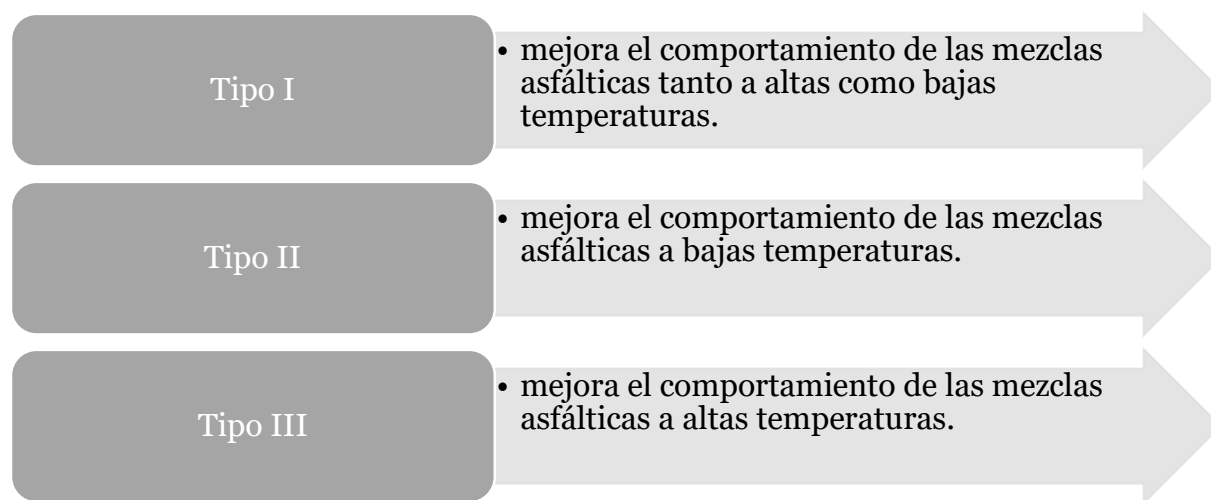
Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad que tiene un pavimento para reducir su resbalamiento, hablando de las llantas de los vehículos cuando este se encuentra en condiciones húmedas, se mide con una rueda en condiciones controladas de humedad y de velocidad. (Velazques Castañeda, 2017)

Polímeros

De acuerdo a Maxil & Salinas (2006) los polímeros son sustancias que tienen un alto peso molecular y estos se dividen en cuatro tipos que se logran evidenciar a continuación

Figura 4 Tipos de Polímeros



Nota: por Heano, 2021. A partir de Maxil & Salinas (2006)

Poliestireno

Es un tipo de polímero que estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono a partir del monómero estireno

Polietileno

Es un polímero que estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono a partir del monómero etileno+

Asfaltos modificados

Las mezclas asfálticas modificadas es el resultado de la incorporación de aditivos que son estables en un periodo y además no sufren cambios ante cambios de temperatura con el fin de analizar y modificar propiedades como el envejecimiento, la resistencia al agua, la respuesta elástica, la cohesión, entre otros.

De acuerdo a Hesgmat (1997), los modificadores aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas cuando estas se someten a esfuerzos de tensión por repetición de cargas o a deformaciones, además, reducen el agrietamiento y problemas ante la variación de la temperatura.

Por otra parte (Lozano, 2011) afirma que los ligantes demuestran una capacidad para mejorar el comportamiento frente a una mezcla convencional o tradicional. Además, estos se pueden ajustar a las necesidades que requiera cada uno de los proyectos.

Modificador con polímeros

Adicional a lo mencionado en el ítem de polímeros expuesto anteriormente es importante mencionar que son casi imposibles diluirse con el aire o el agua y dado esto genera contaminación en el medio ambiente, estos se dividen en termoplásticos y termo sets plásticos (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014) el primero de ellos cambia fácilmente al contacto al fuego sin embargo conservan sus propiedades mecánicas estos al contacto de bitumen pueden crear los siguientes efectos presentados en la tabla a continuación

- Sobre ligante
- De estructura
- Bloqueante

Tabla 4 Efectos de los plásticos con el bitumen

EFEECTO	CARACTERISTICAS
Bloqueante	Las tiras plásticas en los granos pueden llenar los vacíos del esqueleto granulométrico a la hora de compactar.
De estructura	Las fibras o tiras plásticas crean entre los granos del granular uniones.
Sobre Ligante	La disolución verdadera o la dispersión del estado fundido de material plástico en la mezcla hace aumentar la viscosidad del ligante

Nota: por Heano, 2021. A partir de (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014)

Como consecuencia estos efectos producen los siguientes resultados

Figura 5 Resultados efectos de plásticos en Bitumen

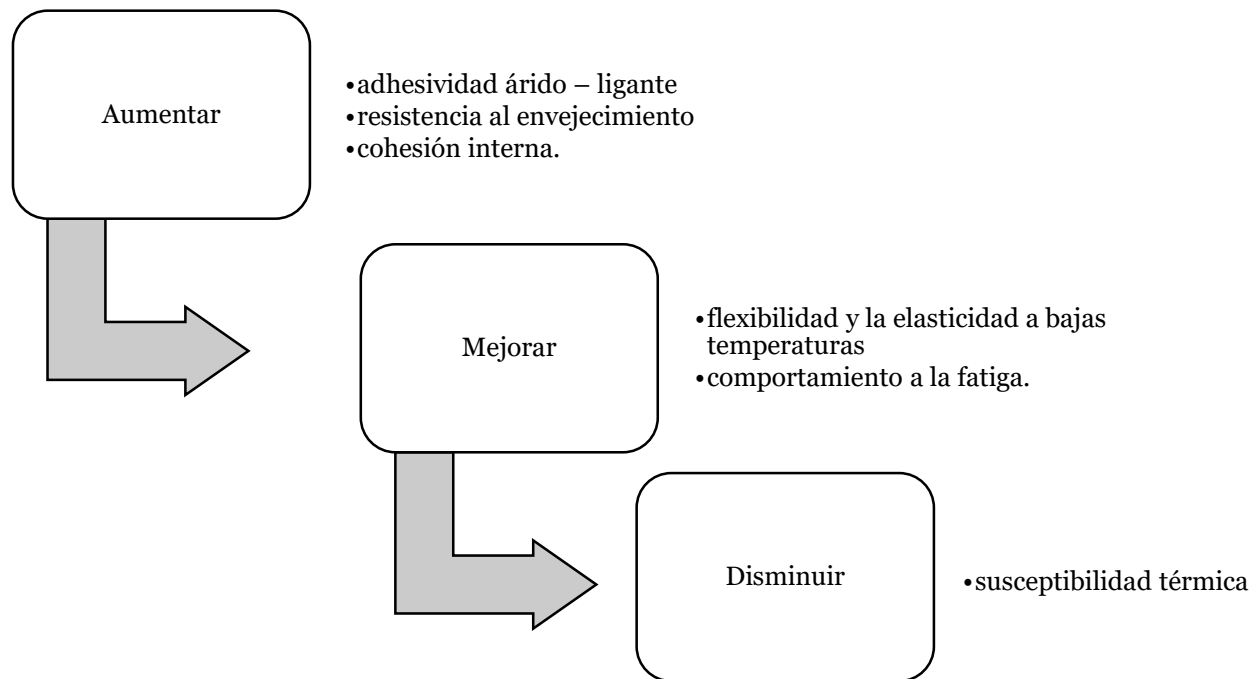


Nota: por Heano,2021. A partir de Lozano (2011)

Utilización de polímero como modificador

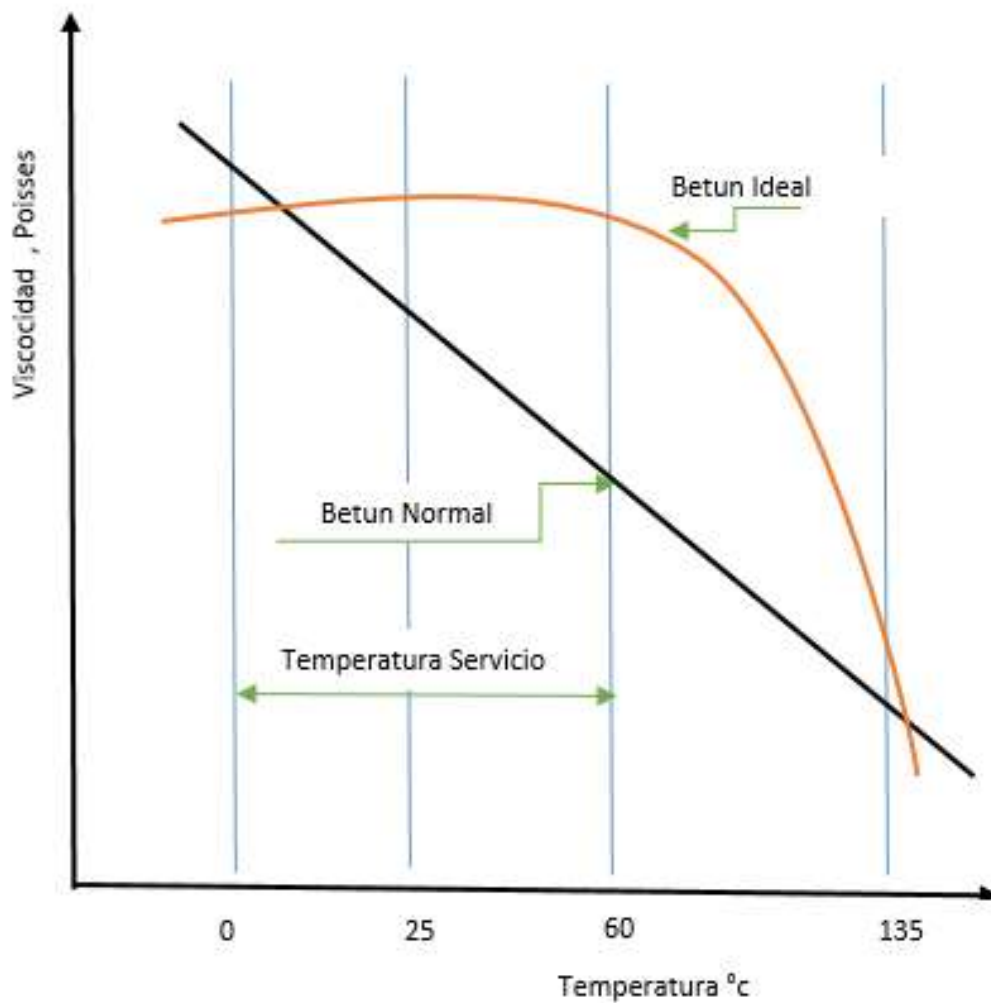
De acuerdo a (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014) la inclusión de un polímero a betún es un proceso que requiere de procesos complejos: *“las partículas de polímero absorben aceites de los máltenos, hinchándose de una manera importante, para dispersarse finalmente en forma molecular, siendo en esta etapa cuando realmente tienen lugar los cambios reológicas más significativos sobre el asfalto”* de modo que la composición es de vital importancia y tiene un significado relevante a la hora de elaborar un asfalto modificado.

Este proceso consiste en incorporar el polímero al asfalto a ciertas condiciones de temperaturas específicas, pero elevadas donde el principal objetivo es:

Figura 6 *Objetivo de la modificación de asfaltos*

Nota: por Heano,2021. A partir de (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014)

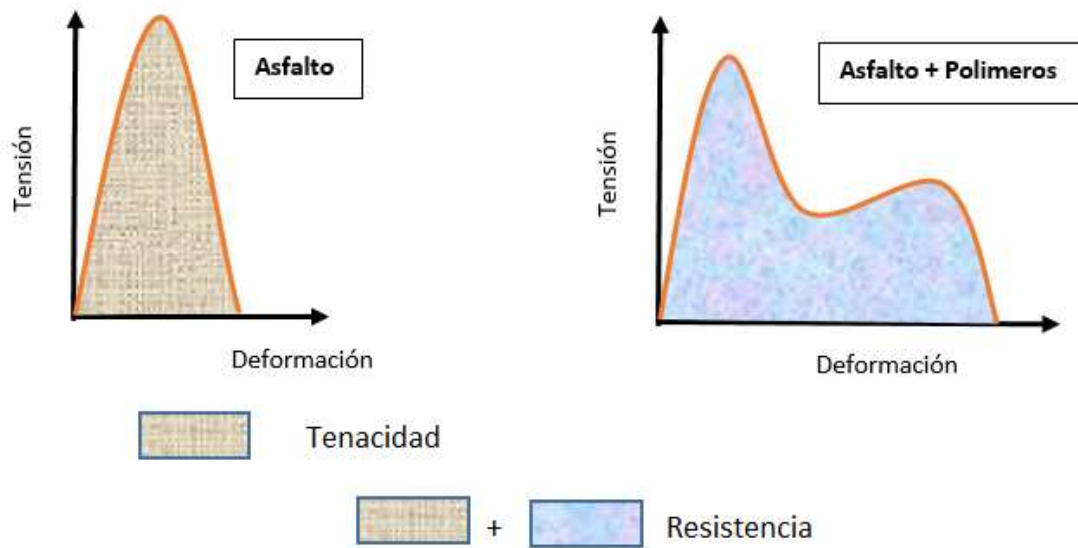
Según el diagrama bitumen Date Test Chart (BTCD) desarrollado por Heukelon se muestra como son los cambios en temperatura de los asfaltos modificados con polímeros y los convencionales, representado en la siguiente figura:

Figura 7 *Susceptibilidad termina Betún convencional y uno ideal*

Nota: Por Martínez (2021) a partir de Lozano (2011)

Según se observa el asfalto modificado presenta un mejor desempeño en características de flexibilidad en comparación con el convencional. Para temperaturas de 70°C el asfalto presenta menor susceptibilidad térmica, esto conlleva y asegura que tendrá resistencia y mejor desempeño a deformaciones permanentes.

De acuerdo a (Camacho Vega & Vargas Porras, 2017), los polímeros aportan de manera considerable al aumento de cohesión ya que como se evidencia a continuación y corrobora (Lozano, 2011) en la figura 9 se observan las curvas de tensión y deformación donde se observa como la curva del asfalto con polímero es más resistente en comparación al convencional.

Figura 8 Curva tensión - deformación

Nota: Por Martínez (2021) a partir de Lozano (2011)

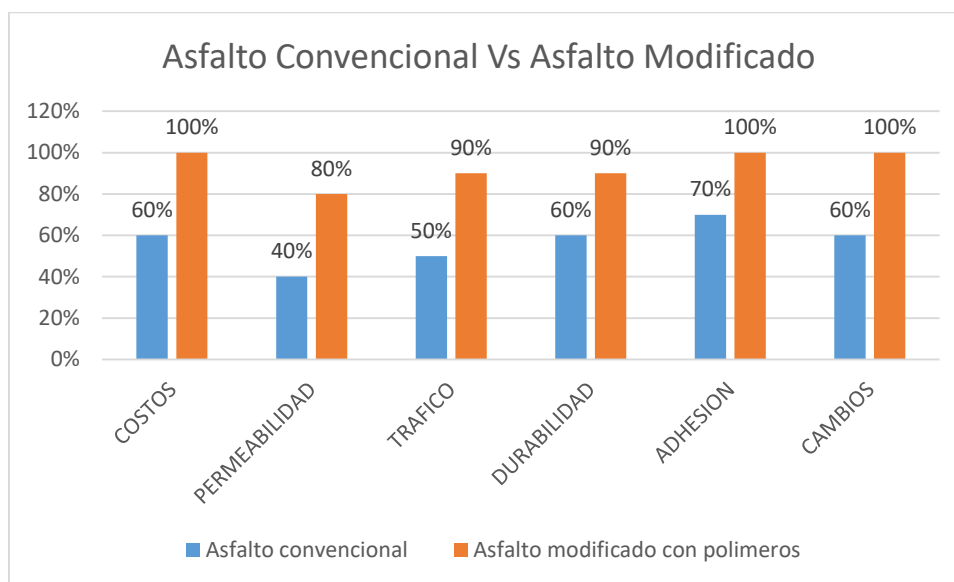
La resistencia es posible definirla y de acuerdo a la figura como el trabajo que está representado frente al área total de la curva, una amplia tenacidad significa que es necesario más esfuerzo para que se desprendan partículas de la superficie del pavimento por acción de los vehículos y una mejora en la resistencia significa un aumento interno de la mezcla bituminosa. (Aristizabal Isaza, 2016)

Ventajas y desventajas de los polímeros en la modificación de las mezclas asfálticas

Una vez mencionadas algunas de las ventajas que tienen los asfaltos modificados con polímeros respecto a los convencionales, se decide dedicar un apartado puntualmente a este tema, dada la importancia que tienen estos asfaltos el impacto no solo ambiental si no en la industria de la ingeniería.

De acuerdo a Riaño (2013), para conocer las ventajas de un asfalto modificado con polímero es necesario compararlo y que mejor que con uno convencional, donde según como lo comenta Riaño se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 9 Diferencias Asfaltos convencionales y asfalto modificado con polímeros

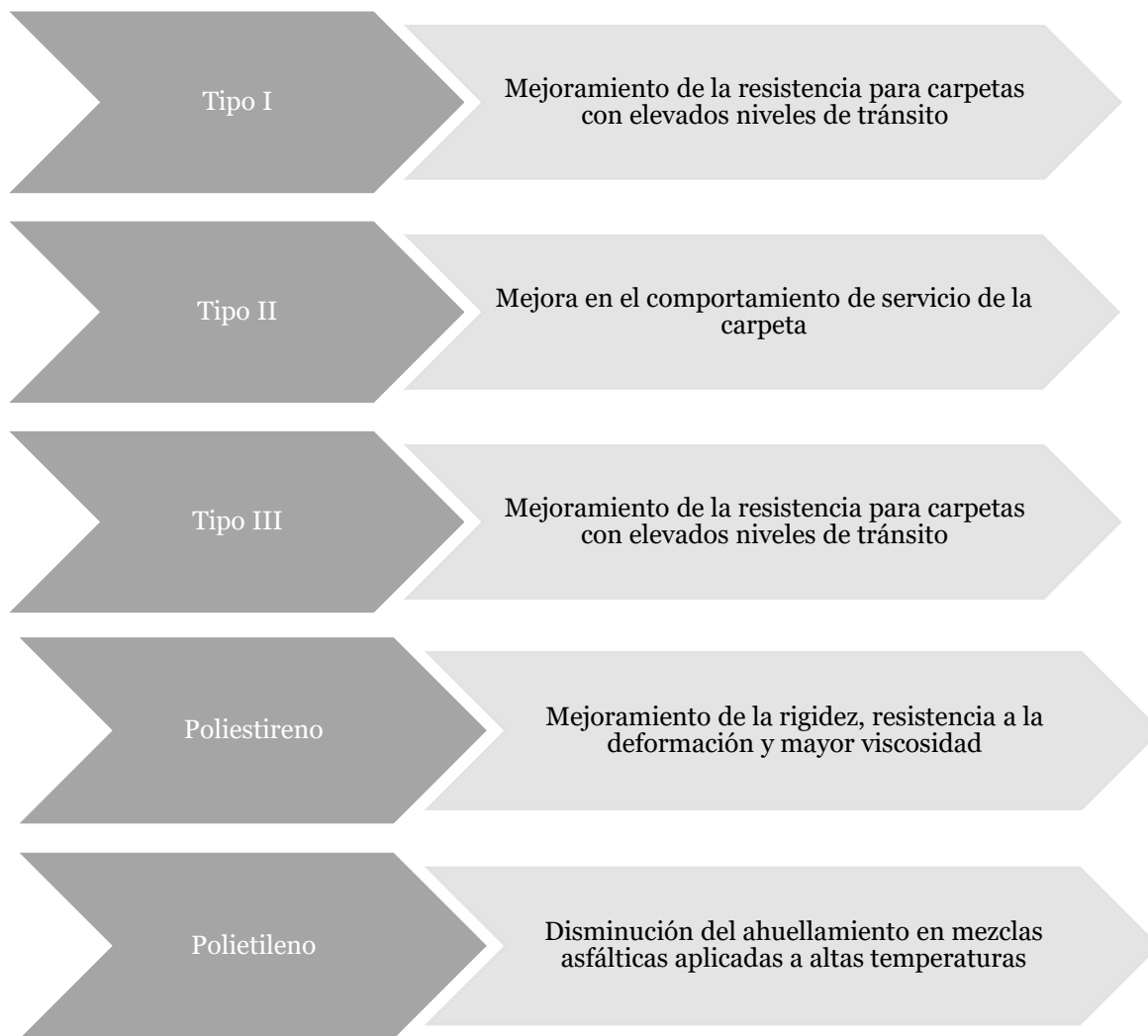


Nota: Por Martínez, 2021 adaptado de Riaño (2013)

Según lo observado en la gráfica, los asfaltos modificados con polímeros llegan a alargar la vida útil de un pavimento incluso hasta una tercera parte mayor, sin embargo, tienen un costo inicial de un 25%, que a largo plazo podría representar mejora en el mismo. A pesar del buen rendimiento de las propiedades mecánicas de los asfaltos convencionales, el crecimiento del volumen del tránsito y las condiciones atípicas en el clima hacen necesario optimizar estos procesos. Y con esto, tal como argumenta Ruiz (2010), los asfaltos convencionales no logran superar las expectativas en la totalidad

Del mismo modo a continuación se presentan algunas ventajas en los asfaltos modificados con polímeros y las ventajas por si solas de estos:

Figura 10 Ventajas de los Polímeros



Nota: por Heano,2021. A partir de Maxil & Salinas (2006)

De igual manera y en términos generales las ventajas de los asfaltos modificados son las siguientes:

- Mejor costo- beneficio que los asfaltos convencionales
- Mejora la trabajabilidad y compactación de la mezcla, esto debido a que el lubricante del polímero con el que se mezcla permite dicha reacción
- Mejor sellado en las fisuras

- Mayor durabilidad, según los ensayos de envejecimiento además de una mayor resistencia al cambio sin cambio de las propiedades.
- Contienen superficies que duran además tienen alta cohesión, característica principal de los polímeros
- Mejora en la adhesión de la sub- base y la carpeta de rodamiento con los ligantes mejorados.
- Mayor resistencia al ahuellamiento y la deformación por repetición de cargas vehiculares o por cambios climáticos
- Disminución de la susceptibilidad térmica
- Mayor elasticidad, y por ende mayor resistencia a la flexión

Adicional en la tabla a continuación se identifican otras ventajas tales como las mecánicas, térmicas, económicas, vida útil, físicas y ecológicas.

Tabla 5. Ventajas de asfaltos modificados

Tipo de Ventaja	Descripción
Ecológica	• Gracias a su enlace y esqueleto de carbono, son materiales orgánicos.
Físicas	• Mejor adherencia a los agregados • Mejor comportamiento a diferentes temperaturas • Mejora relación viscosidad- temperatura • Mayor intervalo de plasticidad • Mayor cohesión • Mayor resistencia a la acción del agua • Mayor prolongación de vida útil al almacenamiento • Mayor espesor de película sobre el agregado
Vida útil	• Se deteriora por la trituration o abrasión más que por falta de asfalto con algunos tipos de polímeros • Algunos polímeros proporcionas excelente resistencia al envejecimiento • Menos trabajos de conservación, por vida útil mayor • Rigidez ayuda a soportar largos tiempos de carga sin tener deformaciones considerables que afecten la estructura del asfalto
Económicas	• Costo variable según el proceso de polimerización y disponibilidad de los monómeros • Fácilmente disponible en el mercado
Térmicas	• Menos susceptibilidad térmica • Menor fatiga en climas de calor • Algunos deformables a temperatura ambiente

Tabla 5. Continuación

Tipo de Ventaja	Descripción
Mecánica	• Mayor resistencia a deformación permanente • Mayor resistencia a cambios de temperatura tensiones y tiempos de carga • Elevada resistencia mecánica • Resistencia a la tracción • Disminución en la exudación del asfalto • Mayor cohesión • Mejor impermeabilización • Disminución en el nivel de ruido sobretodo en mezclas abiertas

Nota: por Heano,2021. A partir de Vázquez (2010)

Desventajas de los asfaltos modificados

Teniendo en cuenta las diferentes ventajas anteriormente mencionadas algunas desventajas identificadas son las siguientes:

- Costo de polímeros altos
- Extremos cuidados en la elaboración de la mezcla
- Un mayor y mejor tratamiento de los agregados ya que no deben estar húmedos ni sucios
- La temperatura mínima de distribución debe ser de un promedio de 145 °C por su rápido endurecimientos
- Algunas dificultades con el mezclado dependiendo del polímero empleado.

Uno de los temas más importantes en cualquier tipo de aplicación en la ingeniería y en todo campo en general es el factor financiero. De modo que Vázquez (2010) analizó como era el comportamiento del costo a través del tiempo concluyendo que el elevado costo inicial se compensa en la reducción de conservación y mantenimiento, datos evidenciados en la siguiente figura:

Figura 11 Relación Costo- Tiempo

Nota: Por Vázquez (2010)

Proyectos implementados de asfaltos modificados en Colombia

A partir de una búsqueda exhausta y detallada de la identificación de cuales han sido los proyectos en los cuales se ha intervenido con un asfalto modificado con polímeros es realmente reducida, evidenciando que las aplicaciones de este tipo de modificaciones aún no se llevan a cabo de manera masiva debido a su alto costo de inversión inicial (Lubo Gómez & Matinez Giraldo, 2019) esto podría verse argumentado en que la mayoría de los contratos hoy en día son por construcción y diseño mas no mantenimiento, costo que no se tiene en cuenta en las etapas iniciales.

Sin embargo, es importante resaltar el alto campo a nivel académico que se encuentra en el tema, evidenciando una amplia posibilidad de aplicación. Para esto es importante mencionar que a pesar del campo académico que se tiene, en la actualidad ya se puede encontrar en el mercado este tipo de asfaltos modificados, en cumplimiento con la normativa colombiana y con sus fichas técnicas respectivas.

De acuerdo a lo anterior, se identifican proyectos de aplicación de asfaltos modificados con polímeros para ejercicios académicos o aplicaciones en vías terciarias y secundarias cada una de ellas en tramos cortos y que generalmente son con los fines anteriormente enunciados.

Adicionalmente se presenta una Matriz de ventajas y Desventajas:

Tabla 6 Ventajas y desventajas de polímeros

Ventajas	Desventajas	Carácter
Disminución Susceptibilidad térmica por mayor elasticidad		Técnico
Mejora a la resistencia a la deformación por tener mayor resistencia		Constructivo / Técnico
Superficies durables con alta cohesión		Constructivo
Mayor resistencia al envejecimiento		Constructivo
Mejor sellado de fisuras		Constructivo
Mejor Relación Costo-Beneficio		económico
Elevada resistencia mecánica		Técnico (Mecánico)
Mayor cohesión		Técnico (Mecánico)
Mejor Impermeabilización		Técnico (Mecánico)
Disminución de ruidos		Constructivo
Disminución de fragilidad a cambio de clima		Técnico (Térmico)

Tabla 6. Continuación

Mejor Adherencia de los agregados		Técnico (Físico)
Mayor intervalo de plasticidad		Técnico (Físico)
Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado		Técnico (Físico)
Polímeros son basados en un esqueleto de carbono por tanto son materiales orgánicos		Ambiental
	Alto costo	Económico
	Mezclado con personal altamente capacitado	Constructivo
	Extremos cuidados al momento de la mezcla	Técnico
	Cuidado en los agregados que no deben estar húmedos ni sucios	Constructivo
	Temperatura mínima de distribución de 145 °C	Técnico

Nota: por Heano,2021. A partir de Vázquez (2010)

Conclusiones

De acuerdo al análisis a lo largo de la monografía y de la síntesis de cada una de la información recolectada en cuanto a asfaltos modificados con polímeros, se concluye que el factor más importante a tener en cuenta es el tránsito, además de la caracterización de los agregados de la emulsión asfáltica en cuanto a sus porcentajes y finalmente pero no menos importante el polímero a emplear junto con la temperatura promedio de este.

Los asfaltos modificados con polímeros cuentan con algunas propiedades que varían según el primero pero que pretenden mejorar la resistencia a la flexión a la deformación y el mejoramiento de las propiedades visco – elásticas, pero esta depende de las condiciones anteriormente descritas. De lo que es importante mencionar que el desarrollo es principalmente de carácter cualitativo, ya que los valores numéricos y proporciones varían según la fuente, la dosificación de la emulsión y de los polímeros.

De igual manera, se definen las principales características de algunos polímeros los cuales pueden ser más resistentes al daño por fatiga mejorando su capacidad en un 40 %, en general tienen menos susceptibilidad a la temperatura incrementando su rendimiento ante los cambios en un 35%, sin embargo, los valores de mejoramiento de propiedades varían de acuerdo al porcentaje de polímero empleado. Adicional y en términos generales el asfalto modificado con polímeros posee las mismas propiedades físicas que un asfalto convencional y su análisis se determina con los mismos ensayos de laboratorio, cumpliendo la normativa que sea aplicable.

Así mismo existen diferentes tipos de polímeros que gracias a sus propiedades se logran acomodar a las necesidades específicas de cada uno de los diferentes proyectos que estos lo demanden, tendiendo grandes utilidades en cuando a la deformación, mejora en la elasticidad y sobre todo en la cohesión.

En términos generales son más las ventajas que desventajas que aportan los polímeros a las mezclas asfálticas donde se resaltan las más representativas y las cuales se abordaron a lo largo de la monografía como lo es el aumento de la rigidez, haciendo más resistente la mezcla por repetición de cargas adicional lo cual mejora su incremento de tráfico en un 40% a esto las mezclas modificadas disminuyen la susceptibilidad termina mejoran la trabajabilidad en un 30 %, la adhesión a la carpeta de rodamiento de hasta de un 30% , así mismo aumentan la durabilidad mejorando un 30% y la resistencia al envejecimiento junto con la permeabilidad duplicando su rendimiento en hasta el doble según el polímero.

En cuanto a los costos de las mezclas modificadas con polímeros, resultan mayores para la inversión inicial, sin embargo y gracias al análisis a largo plazo, se logra identificar que se

compensa el valor a lo largo del tiempo por la disminución en costos de mantenimiento por incremento de vida útil de servicio del pavimento. Lo que como se enuncio anteriormente esto podría incurrir en una reducción de hasta el 40% de los costos a largo plazo por operación y mantenimiento.

Finalmente se evidencia una limitada aplicación de la implementación de proyectos con mezclas asfálticas en Colombia, sin embargo, se resalta el amplio contenido en material académico que hizo fundamental el desarrollo de la monografía.

Recomendaciones

Si bien el enfoque de la monografía no es de carácter ambiental es importante mencionar que el desarrollo de este tipo de documentos tiene una repercusión en el impacto que se genera. De modo que se fomenta la importancia con la reutilización de los materiales y la aplicación de los mismos en el campo de la ingeniería civil.

Adicional es necesario la especificación y reglamentación de la implementación de adicionar desperdicios asfálticos con polímeros dentro de la contratación de obras públicas debido a que pueden ser factores que detienen la aplicación de este tipo de proyectos ya aun teniendo un amplio campo en investigación sobre el tema, además de que algunas empresas productoras ya cuentan con este tipo de mezcla en el mercado con su respectiva ficha técnica

Se recomienda continuar con este tipo de documentos e investigaciones que no solo actualizan y sintetizan la información si no fomentan y motivan en el uso de diferentes aplicaciones del campo de la ingeniería civil con un sentido hacia lo sostenible. Por tanto, es necesario continuar con el estudio de los efectos de los polímeros en mezclas asfálticas, con el fin de definir parámetros de diseño de acuerdo a las solicitudes de cada uno de los proyectos viales y con esto impulsar las aplicaciones.

Finalmente es importante que desde la academia y el estado se promueva y se incentiven además que se fundamente la aplicación de emplear este tipo de mezclas en los proyectos viales que actualmente se ejecutan y se tienen para un futuro de modo que se abra un camino a na innovación y reducción del impacto climático que se tiene hoy en día.

Bibliografía

- Acosta Mejía, M., & Herrera López, D. (2016). Uso de polímeros tipo III para mejorar la durabilidad y el comportamiento de las mezclas asfálticas (MDC-19) empleadas en zonas cálidas. *[Trabajo de grado, Universidad de Cartagena]*. Repositorio. Obtenido de Universidad de Cartagena: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/5757/Monografia%20-%20USO%20DE%20POL%C3%8DMEROS%20TIPO%20III%20PARA%20MEJORAR%20LA%20DURABILIDAD%20Y%20EL%20COMPORTAMIENTO%20DE%20LAS%20MEZCLAS%20ASFALTICAS%20MODIFICADAS%20CON%20POLIMEROS%20TIPO%20III.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aldana Perdomo, J., & Acosta Velásquez, L. (2014). Análisis del comportamiento de las mezclas gruesa en caliente MGC-1, utilizando asfaltos modificados con polímeros (SBS). *[Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio. Obtenido de [https://repository.ucatolica.edu.co:](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2579/1/An%C3%A1lisis_comportamiento_MGC-1_utilizando_SBS.pdf)
https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2579/1/An%C3%A1lisis_comportamiento_MGC-1_utilizando_SBS.pdf
- Aristizabal Isaza, M. (2016). Evaluación técnico-económica de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Viatop PLUS FEP. *[Trabajo de grado, Universidad EIA]*. Repositorio. Obtenido de Universidad EIA: https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2073/AristizabalMiguel_2016_EvaluacionTecnicaEconomica.pdf?sequence=1
- Atencia Herrera, O., Daza Velásquez, C. E., Figueroa Infante, A. S., Fernández Gómez, W. D., & Reyes Lizcano, F. A. (2013). Análisis de la alteración del asfalto colombiano en inmersión en agua. *Ingeniería y Universidad*, 17(2), 427-442. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/477/47728826010.pdf>
- Avellán Cruz, M. (2017). Asfaltos modificados con polímeros. *[Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]*. Repositorio. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf
- Cabezas López, P. (2020). Proyecto de investigación. Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD). *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]*. Repositorio. Obtenido de Universidad Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21778/2020paulacabezas?sequence=1&isAllowed=y>

- Camacho Vega, D., & Vargas Porras, L. (2017). Pre factibilidad de uso de mezclas asfálticas fabricadas con goma de neumático fuera de uso y agregados de la región de Tunja. *[Trabajo de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio*. Obtenido de https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/5552/1/TEPRO_CamachoVegaDeicy_2017.pdf
- Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP). (2019). *Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente*. Universidad de los Andes, Greenpeace Colombia. Obtenido de http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf
- Forigua Orjuela, J., & Pedraza Díaz, E. (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos. *[Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Dise%C3%B1o-mezclas-asf%C3%A1lticas-modificadas-adici%C3%B3n-desperdicios-pl%C3%A1sticos.pdf>
- Lopez Moncada, D. (2015). Implementación de mezclas asfálticas modificadas con polímeros en pistas de aterrizaje. *[Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]*. Obtenido de Universidad Militar: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7517/L%c3%b3pezMoncadaDiegoLeandro2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lubo Gómez, O., & Matinez Giraldo, A. (2019). Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012-2019. *(Artículo académico, Universidad Cooperativa de Colombia)*. Repositorio. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15630/2/2019_asfaltos_modificados_polimeros.pdf
- Mejia Umbarila, C., & Sierra Hernández, C. (2017). Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años: caso de estudio universidades de Bogotá D.C. *[Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]*. Repositorio. Obtenido de Universidad Piloto de Colombia: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00003837.pdf>
- Velazques Castañeda, T. (2017). Modificación de meclas asfalticas con fibras de polipropileno. *[Trabajo de grado, Universidad de los Andes]*. Repositorio. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co>

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23079/u281661.pdf?sequence=1>

Wulf Rodríguez, F. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. [*Trabajo de grado, Universidad Austral de Chile*]. Repositorio. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/sources/bmfciw961a.pdf>