

CONTEXTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO SOBRE LA FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

CONTEXTUALIZATION OF THE STUDY ON THE FUNCTIONALITY OF MODIFIED ASPHALT MIXTURES AT THE SANTO TOMÁS UNIVERSITY

Ing. Dayarith Yohana Nova Burgos

dayarithnova@usantotomas.edu.co

Juan Daniel Posada Tamayo

juanposada@usantotomas.edu.co

Resumen: El presente artículo busca analizar documentalmente la información sobre los proyectos de investigación realizados por parte de la Universidad Santo Tomas, acerca de la funcionalidad de los asfaltos y mezclas modificadas, se realizara un cuadro comparativo sobre las ventajas y desventajas de cada uno de los agentes modificadores utilizados en los trabajos de grado en los últimos 5 años, posteriormente se mostrara los avances investigativos en la modificación de asfaltos, provenientes de ámbitos académicos y empresariales que permitan la implementación de nuevos agentes modificadores para las mezclas asfálticas.

Palabras clave: Asfalto convencional, asfalto modificado, materiales alternativos, mezcla asfáltica, materiales pétreos, pavimentos, propiedades físico-mecánicas.

Abstract: This article seeks to analyze and evaluate the studies carried out on the modification of asphalt mixtures, to show the advantages and disadvantages of the materials used in the research in the subject of modified asphalt, collecting information from scientific articles, undergraduate projects, postgraduate studies, web documents, containing this information, it is intended to consolidate knowledge on the subject of modified asphalt, and present a respective document of the analysis carried out, during a period of academic time.

Keywords: Conventional asphalt, modified asphalt, asphalt mixture, stone materials, pavements, physical-mechanical properties,

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las investigaciones a nivel mundial en materia de asfaltos modificados se desarrollan en todos los ámbitos académicos y profesionales, se han venido implementando nuevos materiales buscando siempre el mejoramiento de las mezclas asfálticas ajustadas a las exigencias cada vez mayores de las estructuras de pavimento. [1]

En Colombia durante los últimos años se han desarrollado investigaciones, tesis y artículos, fomentando la aplicación de diferentes agentes y aditivos para la modificación del asfalto con la finalidad de optimizar recursos y mejorar el pavimento tanto en durabilidad como resistencia y se descubrió que los agentes modificadores encontrados, aumentan de manera favorable las propiedades físicas y reológicas de la mezcla asfáltica. De igual manera los proyectos que se han desarrollado solo son de ámbitos académicos, por lo tanto, muy pocas investigaciones llegan al punto de ejecutarse. [2]

Para el desarrollo de esta monografía, se realizó un estudio y un análisis de los proyectos de investigación sobre la modificación de mezclas asfálticas que ha venido desarrollando la Universidad Santo Tomás en los últimos cinco años.

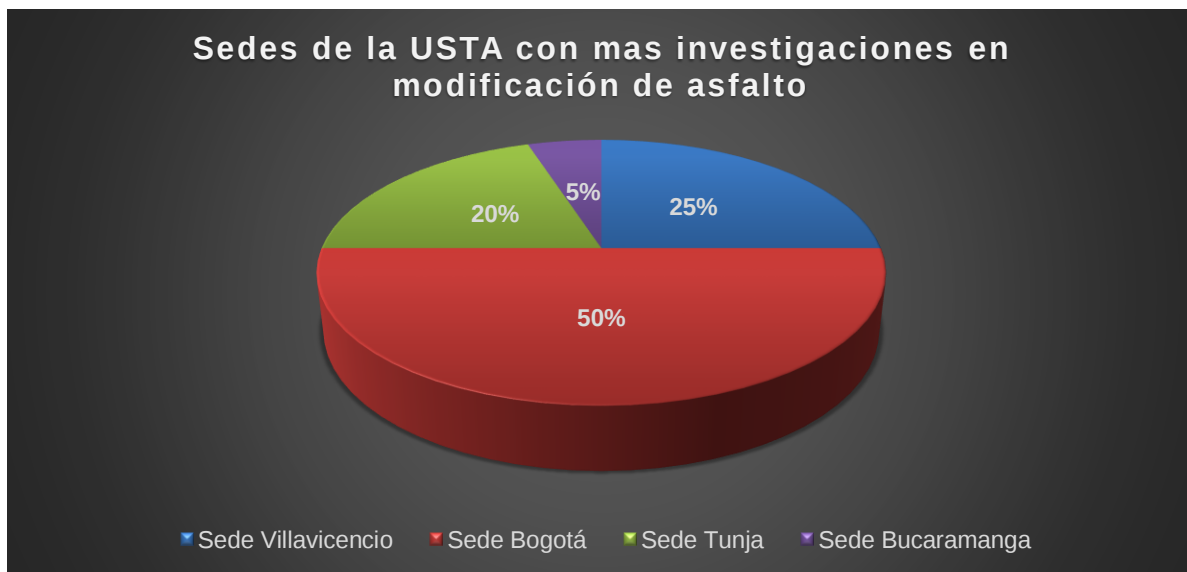
El análisis realizado evaluará principalmente aspectos como los objetivos, estados del arte, metodologías, desarrollo y conclusiones, en los cuales se identificarán las ventajas y desventajas de los agentes modificadores, para crear un documento base con el estado del conocimiento que agrupe toda la información necesaria de las investigaciones realizadas en la Universidad Santo Tomás.

Finalmente, se darán a conocer los avances tecnológicos para la modificación de mezclas asfálticas que ofrece el sector empresarial y académico.

2. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

2.1 Encabezamiento de una partición de segundo orden

La Universidad Santo Tomás, en especial las facultades de Ingeniería Civil, de todas las sedes del país, formularon proyectos de investigación enfocados en el tema de modificación de mezclas asfálticas, con modificadores de origen natural o sintético, que son implementados en las mezclas asfálticas ya sea por vía húmeda o seca, con la finalidad de aumentar la durabilidad y consistencia del pavimento.



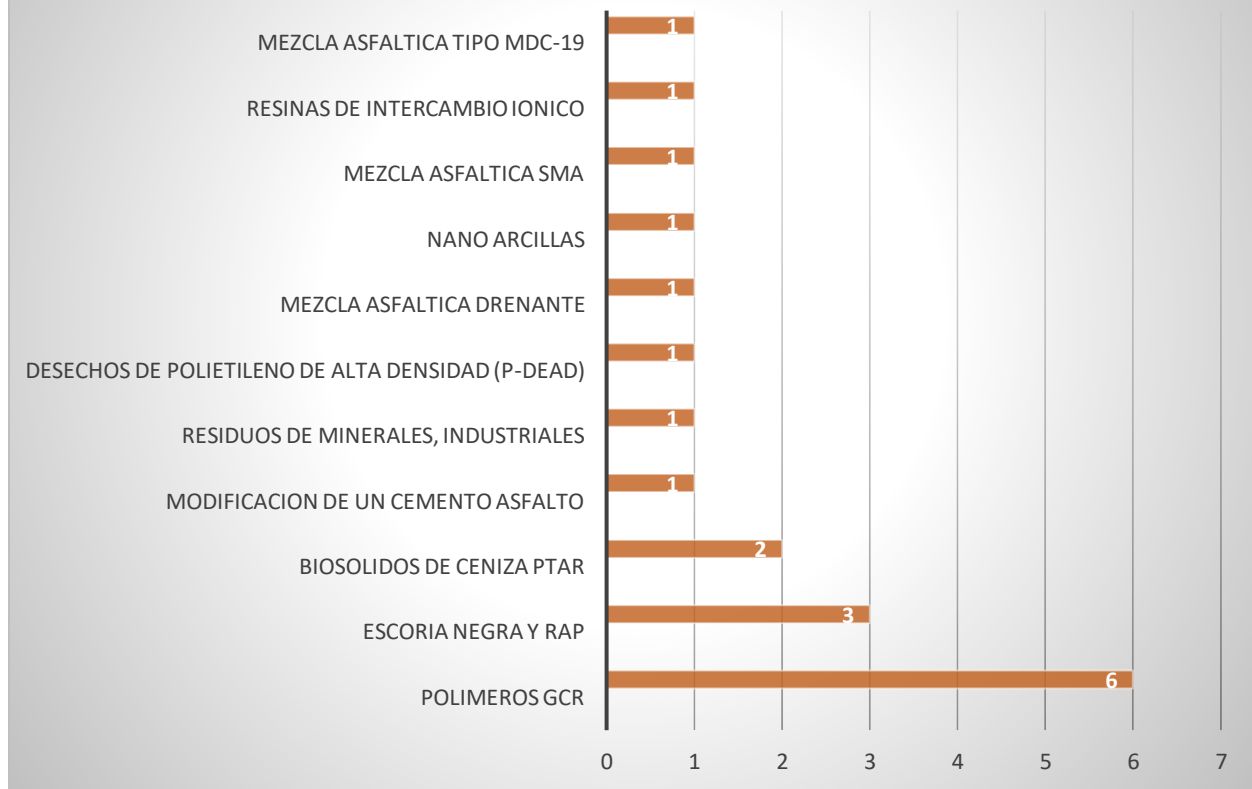
De la gráfica anterior, se puede observar que la sede de Bogotá de la Universidad Santo Tomás, tiene una gran trayectoria académica e investigativa, y es la que actualmente, ha realizado más investigaciones, relacionadas en el tema de asfaltos modificados.

2.2 Agentes modificadores utilizados en las mezclas asfálticas

Las investigaciones realizadas por los ingenieros de la Universidad Santo Tomás, se han enfocado en la utilización de materiales naturales y sintéticos, A continuación, se describen cada uno de ellos:

Tabla 1, Materiales utilizados en las investigaciones.

Agentes modificadores analizados en los proyectos de investigación (USTA)



Fuente: Autor

De la tabla anterior se puede observar, todos los agentes modificadores que fueron utilizados en los presentes proyectos de investigación, la mayor cantidad de investigaciones son los materiales sintéticos, como los polímeros GCR y RAP.

2.3 Ventajas y desventajas de los agentes modificadores de las mezclas asfálticas

Para el desarrollo del cuadro comparativo, se tuvieron en cuenta puntos clave, como el estado del arte de los proyectos de investigación, resultados obtenidos y conclusiones, así como información externa de otros documentos e instituciones.

1. GCR (Grano de caucho reciclado)

El GCR es un material obtenido de las llantas en desuso de los vehículos automotores, que por lo general tiene un destino no muy controlado ambientalmente, rellenos sanitarios, plantas térmicas, basureros a cielo abierto, entre otros, que generan un daño ambiental importante. Se obtiene mediante procesos de molienda de llantas usadas, disminuido en tamaño, este material es utilizado en diferentes obras de ingeniería civil, como lo son en rellenos de terraplenes, materiales de contención, pisos de parques, como modificador en las mezclas asfálticas, entre otros. [3]

Tabla 2, Ventajas y desventajas GCR

VENTAJAS	DESVENTAJAS
----------	-------------

Las propiedades que se intentan mejorar del pavimento son la rigidez y la resistencia bajo carga, entre otras, esto con el fin de disminuir los niveles de fatiga, ahuellamiento y envejecimiento. [3]	El incremento de la viscosidad genera un aumento en la temperatura de fabricación en planta y extensión en obra de la mezcla asfáltica modificada lo que genera una mayor dificultad y complejidad a la hora de construirla in situ.
Lo que le brinda otros beneficios al pavimento como una vida útil más larga y la obtención de espesores más delgados, El grano reciclado en el cemento asfáltico actúa como un agente inhibidor del envejecimiento, prolongando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo.	El GCR utilizado para el proceso húmedo mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo, los módulos dinámicos disminuyeron, debido a la cantidad de asfalto que se involucra en la mezcla el cual está en este caso en 7.1%. sin embargo, estas mezclas por su gran resistencia a la fatiga se pueden llegar a disminuir espesores hasta en un 50%. [4]
La rodadura empleada con GCR, que, por su grano, aportan mucha rugosidad, esto es una textura superficial macro rugosa y corresponde básicamente al tipo de gradación.	El proceso de fabricación de la mezcla repercute en mayores costos debido a que se incrementa la cantidad requerida de cemento asfáltico, así como se incrementan los tiempos de compactación en obra.
Mayor resistencia al desgaste por el fenómeno de abrasión, igual que estas mezclas disminuye el ruido de rodadura, por debajo de los permitidos que es entre 4 y 8 decibeles.	El proceso de modificación por vía húmeda requiere de equipo adicional y cambio de bombas y tuberías, además de un incremento en la energía para calentar la mezcla con tiempos mayores de mezclado. [4]
Mezclas con GCR, tienen un menor envejecimiento prematuro, tampoco requiere de mantenimiento, y minimiza el impacto ambiental generado por los neumáticos usados.	En planta, la modificación del CA con el GCR se realiza a temperaturas entre 180-200 grados centígrados, lo que genera la necesidad de mayor energía para la fabricación de la mezcla.

Del análisis anterior se puede concluir que una de las soluciones a esta problemática es la adición de grano de caucho de neumático reciclado, a las mezclas asfálticas, un procedimiento realmente sencillo que solo aporta beneficios, ya que, a través de la combinación de estos materiales, las carreteras, además de ecológicas, son más resistentes bajo cargas del tránsito, seguras y menos costosas. [2]

2. NANO – ARCILLA

La nano-arcilla es un material cohesivo que presenta medidas nano-métricas y equivale a la distancia ocupada por 10 átomos de hidrógeno. Estas son producto de transformaciones metamórficas de las rocas, es por esto que estos materiales son evaluados positivamente gracias a que presentan características físicas que son beneficiosas a la hora de interactuar con otros materiales [5]

Tabla 3, ventajas y desventajas nano-arcilla

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se pudo determinar que la incorporación de un 3% de la nano-arcilla, presenta características optimas, de viscosidad, rigidez. [5]	La unión de la nano-arcilla como modificador de ligantes asfálticos no manifiesta una característica notable en su composición volumétrica.
La modificación con este tipo de material presenta mejores comportamientos en sus propiedades químicas, por el motivo de que el material está completamente influenciado por la	El proceso de modificación de asfalto por medio de la nano-arcilla no se puede realizar por vía seca, ya que este tipo de material es líquido.

interacción química entre las nano-arcilla y el asfalto. [6]	
La nano-arcilla en el asfalto, refleja un buen comportamiento a la resistencia de altas temperaturas.	

Del análisis comparativo, la implementación de la nano arcilla como modificadores del asfalto puede generar impactos positivos a largo plazo, los cuales a medida que pasa el tiempo pueden verse reflejados en factores como la mitigación de la contaminación ambiental, mayor durabilidad y resistencias en los pavimentos, entre otros aspectos; adicionalmente, la construcción de estructuras de pavimentos podrá ser mucho más rentable, gracias a la aplicación de estos materiales, ya que como materia prima se puede encontrar muy fácilmente.

3. P-DEAD (Polietileno de alta densidad)

El polietileno de alta densidad P-DEAD, es un polímero de la familia olefínicos, se utiliza para tuberías de gas y de alcantarillado, protección de cables eléctricos y de telecomunicaciones, en botellas de plástico, es un polímero muy económico, puede moldearse a cualquier forma, y es caracterizado por presentar condiciones de resistencia térmica y química. [7]

Tabla 4, ventajas y desventajas P-DEAD

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La resistencia mecánica en los asfaltos modificados con desechos de polímeros de alta densidad es mayor en comparación con los asfaltos convencionales. [7]	No se puede aplicar para climas fríos, por su bajo desempeño y por el mal comportamiento ante la norma.
Las mezclas asfálticas con polímeros disminuyen el ahuellamiento en los pavimentos flexibles.	Se requiere de una temperatura mayor a 135°C para su respectiva homogenización, ya que en los ensayos se presentan a simple vista las partículas del polímero.
De acuerdo a los estudios realizados por la Universidad Javeriana, las mezclas asfálticas con 3% de polímero, presenta un mejor comportamiento mecánico y disminuye el espesor de la capa asfáltica, en comparación a la convencional. [7]	No es posible alcanzar la fluidez de un asfalto modificado con D-PEAD del 10% a una temperatura menor de 160°C. [7]
Con un 6% de P-DEAD, en la mezcla asfáltica, genera menor rigidez, y por lo tanto hace que el material sea menos viscoso, y tenga un mejor comportamiento ante las cargas cíclicas y la vida útil del pavimento.	Elevar su temperatura a condiciones extremas, causaría oxidación en el material, perdería propiedades físicas y químicas, y se presentaría agrietamiento en los pavimentos.

Cabe resaltar que estos resultados son de asfaltos convencionales 80/100 modificados con polímeros, lo cual sirve de guía, pero no son parámetros que definan los resultados en esta investigación, en la cual se trabajó con un asfalto 60/70 modificado con desechos de polímeros, esto quiere decir que los resultados deben arrojar a un material más rígido.

4. Cenizas de biosolidos generados de una PTAR

Los biosolidos, son partículas provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que son producto de la purificación y limpieza de las PTAR, pueden ser residuos domésticos, industriales, comerciales, que son retenidos en dispositivos de desbaste y de ello se obtiene el material biosolidos, convertido en arena, grava.

Tabla 5, ventajas y desventajas Biosolidos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
----------	-------------

Las mezclas asfálticas modificadas con Biosolidos, mejora las condiciones del pavimento, y previene posibles patologías en el asfalto, tales como, piel de cocodrilo, agrietamiento por fisuras. [8]	Requiere de un costo adicional, para el tratamiento y secado de los biosolidos, para ser utilizado en la mezcla asfáltica.
Aumenta la estabilidad y la capacidad de la carpeta asfáltica para ser sometido a desplazamientos y deformaciones, evitando ondulamientos y ahuellamiento.	El módulo resiliente obtenido para el 50% de inclusión de Biosolidos y para el 0%, no presento un aumento del espesor en la capa de rodadura, arrojando un análisis no significativo, esto corresponde a que el rango de variación es mínimo. [8]

Del análisis anterior, se observó que la implementación de este material se requiere de un costo adicional que representa el secado del biosólido a temperatura ambiente y su pre tratamiento para su utilización en la mezcla, y pudo concluir que el uso de este material en sistemas de pavimentación proporciona a la carpeta asfáltica múltiples beneficios en cuanto a las patologías tales como fisuras por reflexión de juntas, piel de cocodrilo y fisuras por desplazamiento de capas.

5. Modificación de un cemento asfáltico

El cemento asfáltico es un material bituminoso semisólido a temperatura ambiente, preparado a partir de hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno (IDU).

Tabla 6, ventajas y desventajas modificación cemento asfáltico

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La exposición del cemento asfáltico a altas temperaturas, endurece el asfalto causado por la tecnología del tratamiento térmico, por vía húmeda, y mejora notablemente el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica.	Manipular el material asfáltico con los agregados genera dificultad, ya que el material pierde condiciones físicas como cohesión y aglutinante.
Al mezclar el cemento asfáltico a altas temperaturas, incrementa la consistencia del material, disminuyendo la penetración y el aumento del punto de ablandamiento y la gravedad específica. [9]	La manipulación del cemento asfáltico genera una disminución, en la flexibilidad de la mezcla por pérdida de ductilidad, esto ocasiona a que la mezcla sea propensa a patologías por fatiga.
El envejecimiento sobre el cemento asfáltico, ocasiono un cambio en sus propiedades reológicas, aumento la resistencia a la deformación, incremento la capacidad de carga ejercida por los vehículos, camiones.	Aunque la deformación del material sometido a temperaturas y tiempos de mezclado es más pequeña con respecto a la mezcla de control, las concretos asfálticos envejecidos generalmente fallan más rápido como resultado de la fisuración por fatiga. [9]

Se pudo concluir que el efecto de la temperatura y el tiempo de mezclado en un cemento asfáltico, proporciona un conocimiento muy importante de como este material influye en el comportamiento de los concretos asfálticos, toda vez a que la mezcla no es solo diseñada y construida para soportar cargas producto del tránsito, si no que esta debe resistir los efectos de la acción del envejecimiento durante su periodo de diseño [9]

6. Escoria negra o residuo RAP o ENHAE

Son residuos provenientes de materiales asfálticos para ser reciclables, son removidos y reprocesados nuevamente. La forma común de su utilización es incorporarlo al diseño de una nueva mezcla asfáltica.

Tabla 7, ventajas y desventajas RAP

VENTAJAS	DESVENTAJAS
----------	-------------

El uso de RAP en las mezclas asfálticas tiene muchos beneficios económicos y ambientales, se disminuyen los costos de materiales, y la materia prima natural para su ejecución.	Se encontró un problema de calidad que se reflejó en una patología severa de fisuración y deformación plástica de pavimentos contruidos a partir de una estabilización de RAP con emulsión asfáltica.
La evaluación del comportamiento de los materiales de RAP asociados con adiciones de emulsión asfáltica, cemento hidráulico y materiales granulares procesados dieron buenos resultados para la construcción de mezclas bituminosas a partir en las cuales más del 65% de los insumos provienen de los desechos de pavimentos asfálticos. [10]	Aunque es un tema de relevancia y cada vez se utilizan más en los pavimentos, su uso está prohibido para la capa asfáltica o para algunos tipos de mezclas modificadas en diferentes países.
El RAP tiene como efecto la rigidización de la mezcla, lo que se atribuye al porcentaje de asfalto envejecido que aporta este material, ocasionando que la mezcla sea más resistente a deformaciones por cargas de tránsito.	Se requiere de una norma y de personal capacitado para su respectivo diseño, por su complejidad en los distintos porcentajes de RAP, y por su dificultad al ser mezclado con el asfalto virgen.
El RAP como agregado grueso presenta buenas condiciones a la resistencia mecánica y por su alto contenido de macro poros se adapta con facilidad al asfalto	

Los resultados obtenidos en el proyecto de investigación, indican que los nuevos materiales mejoran las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales, en cuanto a estabilidad y flujo, de acuerdo con el análisis mencionado anteriormente.

7. Mezcla drenante para asfaltos flexibles

Estas mezclas drenantes MAD, son un tipo de pavimento permeable, se diseña con un 15% de espacios vacíos, y se utiliza en sectores donde la tasa de precipitación es muy alta, estas mezclas asfálticas drenantes mejoran la conducción de la escorrentía, reduce el fenómeno de hidroneo y evita la pulverización del asfalto o pavimento.

Tabla 8, ventajas y desventajas mezclas drenantes

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los pavimentos con mezclas asfálticas drenantes, presenta muchos beneficios, su efectividad en aguas pluviales, mejora la escorrentía.	Las mezclas drenantes no se pueden usar en zonas con alta carga de partículas (sedimentos). [11]
Remoción de partículas contaminantes, como aceite, metales, sedimentos.	Reduce la velocidad permitida, con una velocidad de transito máxima de 48 km/h.
Minimiza el costo de mantenimiento y reparación, y elimina la construcción de cunetas, tubería de alcantarillado y pozos de inspección.	Presenta alto riesgo de colmatación y proliferación de vegetación si no tiene un mantenimiento adecuado.

8. Mezcla tipo SMA

La mezcla asfáltica “Stone Mastic Asphalt” fue creado en Alemania en los años 60’s, es un tipo de mezcla formada por agregados discontinuos, recubiertas por una capa de ligante asfaltico, se utilizan cuando el transito es muy elevado.

Tabla 9, ventajas y desventajas mezclas tipo SMA

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las mezclas asfálticas modificadas con SMA, presenta mejor seguridad, debido al agregado grueso, lo que genera un pavimento más rugoso.	Estos tipos de mezclas SMA, generan un aumento en la temperatura y en el tiempo de mezclado.
Disminución en el drenaje superficial generado por el agua lluvia, las mezclas SMA, retienen parte de la cantidad de agua en las grietas del pavimento, esto hace que no ocurra fenómenos como el “hidroplano”.	Puede generar una “posible segregación en el material y escurrimiento del ligante” cuando la cantidad de fibras celulósicas o mineral no sea la adecuada. [12]
Estas mezclas presentan excelentes condiciones de flexibilidad en temperatura baja en comparación con mezclas convencionales, cuando tienden a enfriarse, presentan fisuras.	El material tiene que estar en una temperatura elevada, al entrar en temperatura ambiente, pierde características mecánicas y propiedades físicas.
Presenta altas resistencias a la oxidación, al envejecimiento por su aumento en el grosor de la capa asfáltica, a la fatiga y a la humedad.	Presenta un aumento en el presupuesto, si fuera diseñado con un tipo mezcla convencional, esto por las adiciones de ligante asfáltico y filler para su diseño. [12]

Se pudo concluir que la inversión inicial de las mezclas tipo SMA es mayor que el de las mezclas convencionales, pero estas son más durables. Un pavimento flexible hecho con mezcla convencional en promedio tiene una duración de ocho (8) años, eso sin tener en cuenta las reparaciones y el mantenimiento que se le debe realizar periódicamente, mientras que las mezclas tipo SMA no necesitan de reparaciones ni mantenimiento constante debido al buen comportamiento de la mezcla que presenta una alta resistencia a las deformaciones permanentes. [12]

9. Evaluación del comportamiento del asfalto modificado con cenizas de cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un desecho que proviene de la industria molendera de arroz, ya que es la cascara que recubre el arroz en la espiga. Este es un subproducto que se ha convertido en agente altamente contaminante por las grandes cantidades de este. Está compuesto por sílice, celulosa, extracto no nitrogenado y humedad. [13]

Tabla 10, ventajas y desventajas de las cascarillas de arroz

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las mezclas asfálticas con adición de arroz mejoran las condiciones físicas del ligante, con una adición del 6% de la ceniza de la cascarilla de arroz.	Se han realizado muy pocas investigaciones y ha sido poco evaluado su comportamiento. Y tampoco existe una normativa por parte del INVIAS.
Por medio del ensayo de Marshall, dedujeron que la ceniza del arroz al ser agregado en mezcla asfáltica, disminuye el espacio de vacíos, que a su vez mejora la resistencia del pavimento ante la carga de tránsito. [13]	Representa un costo adicional, en los datos de laboratorio, e implementación de equipo especializado.
La cascarilla de arroz por su alto contenido de sílice, mejora las condiciones de temperatura y resistencia al calor.	El asfalto 60/70 no cumple, para ser mezclado con la cascarilla de arroz, no cumple con los diseños de la norma para asfaltos modificados.

De la tabla anterior se pudo analizar que las propiedades físicas y reológicas del asfalto modificado con cenizas de cascarilla de arroz, es factible y viable el uso de este material para mezclas asfálticas, ya que los análisis arrojan una mejoría en penetración del 25%, en adherencia del 2%, en Viscosímetro del 26% y punto de ablandamiento del 14%. Determinando esto la viabilidad de esta modificación específicamente al 6%. [14]

10. Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos

En este caso los materiales alternativos son el aceite de palma, y la cera carnauba, que son ácidos grasos naturales, al ser implementados en las mezclas asfálticas mejoran sus propiedades físicas.

Tabla 11, ventajas y desventajas de los aceites de coco y cera

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las mezclas asfálticas con aceite de palma y cera carnauba, disminuyen entre un 10 y 20% la temperatura de mezclado, con una adición del 5 y 3%	Si no se le realiza un respetivo cuidado al aceite de palma, puede generar malos olores dependiendo de su almacenamiento, por lo que se puede dañar, y se requiere de una rápida intervención entre la mezcla asfáltica y el aditivo.
El contenido de cera, en la mezcla, genera una mayor resistencia a la tracción, aumenta la resistencia al agrietamiento y a la fatiga por propiedades cohesivas.	Se han realizado muy pocas investigaciones en la modificación de ácidos grasos en las mezclas asfálticas semi-calientes para ser implementadas en Colombia.
El contenido de ácidos grasos, aumenta la estabilidad, ocasionado que la mezcla tenga más resistencia a las deformaciones producidas por la carga del tránsito.	Se requiere de mayores ensayos de laboratorio como el de adherencia, el de ahuellamiento, fatiga, módulo resiliente, con el fin de evaluar otras propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica.

Se concluyó que el aceite de palma logra reducir las temperaturas de mezclado/compactación (15°C) de las mezclas modificadas con, utilizando como modificadores del asfalto-caucho los ácidos grasos de origen vegetal: carnauba y aceite crudo de palma, sin embargo, la mezcla que satisface los rangos de estabilidad y flujo es el aceite de palma.

3. RESULTADOS

3.1 Ensayos de laboratorios para determinar propiedades de los asfaltos

La siguiente lista resume los diferentes ensayos de laboratorio permitidos y las especificaciones técnicas por el INVIAS, que se realizaron en los proyectos de investigación con respecto a la elaboración de asfaltos modificados.

Tabla 12, tipos de ensayos de laboratorios para cada modificador

AGENTE MODIFICADOR	TIPOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
Grano de caucho reciclado (GCR)	Ensayo de tracción indirecta (INV E-725-07)
	Ensayo deformación plástica (INV- 756-07)
	Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (INV E-213-13)
	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)
	Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (INV E-223-07)
Nano arcilla	Ensayo punto de ablandamiento (INV E-712-13)
	Ensayo de inflamación y combustión (INV-709-13)
	Ensayo de penetración (INV-706-13)
Polietileno de alta densidad (PDEAD)	Ensayo punto de ablandamiento (INV E-712-13)
	Ensayo de inflamación y combustión (INV-709-13)
	Ensayo de penetración (INV-706-13)
Cenizas de Biosolidos	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)

	Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Gruesos (INV. E-223)
	a NTC – ISO 5667-13 guía para sólidos en PTAR
	Penetración de los materiales asfálticos (I.N.V. E-706-13)
Modificación de un cemento asfáltico	Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino (INV E-213-13)
	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los ángeles (INV. E-218-13)
	Valor de azul de metileno en agregados finos (INV E-235-13).
	Equivalente de arena de suelos y agregados finos (INV. E-133-13)
	Penetración de los materiales asfálticos (INV E-706-13)
	Punto de ablandamiento de materiales asfálticos (Aparato de Anillo y bola) (INV E1712-13). Pro
	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)
Escoria negra o RAP	Ensayo de cántabro (INV E-760-13)
	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)
Mezcla asfáltica drenante	Especificación IDU Sección 512 del 2011 "Mezcla Asfáltica Drenante en Caliente
	Especificación INVIAS Artículo 453 del 2013 "Mezcla Drenante
Mezcla tipo SMA	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)
	AASHTO T19 o ASTM D29 (peso unitario del agregado)
Residuos minerales industriales	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)
	Resistencia a la compresión (INV E-323-07)
	Asfalto modificado por vía seca (INV E- 417-17)
Resina de intercambio iónico	Ensayo resistencia a la compresión (INV-323-07)
	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)
Comportamiento mecánico mezcla tipo MDC19	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)

3.2 Resultado del análisis comparativo de los agentes modificadores

La siguiente tabla, se realizó con el fin de demostrar las propiedades reológica que presentan los agentes modificadores con base al análisis comparativo realizado anteriormente, como el aumento en la rigidez, en la resistencia bajo cargas vehiculares y cíclicas, disminución del ahuellamiento, adherencia, la deformación, el envejecimiento del pavimento, la temperatura de mezclado, el agrietamiento (piel de cocodrilo) en los pavimentos, también se analizó las propiedades físicas, tales como durabilidad, susceptibilidad y adhesión.

Tabla 13, componentes principales de las propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas asfálticas modificadas

NOTA: el cuadro de color azul, aumenta las propiedades, y el cuadro de color rojo, disminuye sus propiedades

Agentes modificadores	cantidad	Rigidez	Resistencia bajo Carga	Ahuellamiento	Deformación	Envejecimiento	Temperatura °C	Propiedades físicas	Agrietamiento
Grano de caucho reciclado (GCR)	6	X	X	X		X			X
Nano arcilla	1	X	X		X		X		
Polietileno de alta densidad P-DEAD	1	X	X	X				X	
Cenizas biosolidos	2			X	X	X			X
Modificación cemento asfáltico	1		X		X	X		X	
Escoria negra RAP	3	X	X		X			X	
Mezclas asfálticas drenantes	1							X	
Mezcla tipo SMA	1		X						X
Residuos de minerales industriales	1		X				X	X	
Resina de intercambio iónico	1		X	X	X			X	
Comportamiento mecánico mezcla MDC-19	1	X		X	X			X	

De la tabla anterior, se puede observar cuales son los principales componentes que mejoran las mezclas asfálticas de cada agente modificador, concluyendo que la resistencia bajo carga cíclica y vehicular está presente en la mayoría de agentes modificadores, seguida de las propiedades físicas, tales como susceptibilidad, adhesión y durabilidad del pavimento.

3.2 Avances tecnológicos y nuevas tendencias en la aplicación de asfaltos modificados

Se recopiló información sobre nuevas tecnologías de empresas dedicadas a la modificación de asfaltos o a la elaboración de aditivos de última generación, que son implementados en mezclas tibias, mezclas en frío y en caliente, rejuvenecedores, antiadherentes. La empresa ARKEMA, y su laboratorio *Road Science* está especializada en nuevas tecnologías y aditivos especiales para la construcción, mantenimiento y diseño de pavimentos de alta calidad, desarrollan productos y tecnologías para mejorar la calidad de las mezclas asfálticas. muchos pavimentos requieren de aditivos especiales, por tal motivo la tecnología del laboratorio de *Road Science*, ofrece diversos tipos de aditivos para el asfalto. [14]

- Promotores de adherencia para mitigar el daño de la humedad.
- Aditivos para mezclas tibias para ayudar en la compactación.
- Rejuvenecedores para aumentar el contenido de asfalto reciclado en la mezcla.
- Neutralizadores de olores para reducir el olor desagradable del asfalto.
- Antiadherentes para plataformas de camiones de transporte de asfalto y equipos de pavimentación.

La empresa ASFALTOS MEDELLIN, produce todo tipo de asfaltos, mezclas densas tipo MDC-25, MDC-19, MDC-10, mezclas semidensas tipo, MSC-19, MSC-25, mezclas gruesas tipo MGC-38, MGC-25.

La empresa INCOASFALOS, produce mezclas tipo 2, tipo 3, tipo 4 y tipo 5, asfaltos modificados tipo AC-20, tipo 60/70, para pavimentos flexibles

3.3 Nuevas tecnologías de asfaltos modificados para la aplicación de pavimentos

3.3.1 Aditivos para mezclas tibias

Las nuevas tecnologías de mezclas tibias AD-here ULTRA y WarmGrip, de *Road Science*, estos aditivos de última generación de un laboratorio de EE. UU, están diseñados para mejorar la compactación del pavimento generando mayor durabilidad y previene el envejecimiento prematuro, reduce las emisiones de CO₂, los aditivos están formuladas específicamente para permitir que la mezcla asfáltica se produzca y compacte a temperaturas más bajas y para alargar la vida útil del pavimento al proteger contra el daño por humedad. [14]

Al incorporar AD-here ULTRA y WarmGrip en sus mezclas, los contratistas de pavimentación pueden realizar lo siguiente de manera eficaz:

- Lograr la densidad adecuada cuando la temperatura ambiente es más fría
- Reducir las emisiones en planta
- Incorporar un mayor porcentaje de pavimento asfáltico reciclado (RAP)

3.3.2 Aditivos para mezclas en frío

Road Science es un laboratorio que ha desarrollado un aditivo de alta generación que pueda permitir el uso de asfalto modificado en las mezclas en frío y poder aplicarlo en los pavimentos, con este tipo de aditivo ColdGrip IQ, disminuye el desprendimiento de materiales generado por la lluvia, elimina el reprocesamiento de agua. Además, este tipo de mezcla fría está ganando mucha popularidad por sus beneficios medioambientales frente a la mezcla fría tradicional. El CM-4IQ también actúa como un rejuvenecedor, mediante la mejora de la facilidad y eficiencia con que el asfalto altamente oxidado se incorpora desde el RAP y es introducido en la nueva mezcla fría. [14]

Uno de los beneficios que puede generar este aditivo son los siguientes:

- Mejora la eficiencia de producción de mezclas
- Prolonga la vida útil de los materiales
- Aumenta la duración del pavimento y el material aplicado al bache

3.3.3 Tecnologías de pavimento aglutinado

Con la tecnología de pavimento aglutinado BondTekk de *Road Science*, es un aditivo de última generación que se añade a la mezcla asfáltica, mejorando sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, sirve para todo tipo de mezclas, mezcla en caliente, en frío, HMA, SMA, de granulometría densa, uno de sus mejores beneficios de este aditivo, es que puede retroceder considerablemente el agrietamiento transversal y longitudinal. [14]

3.3.4 Nanomateriales en pavimentos

Las investigaciones realizadas para mejorar las condiciones de los pavimentos se han venido creando nuevas tecnologías con materiales químicos, dando resultados con las nano partículas de carbono o nanotubos las cuales arrojaron que son buenos enlazando los compuestos presentes en el asfalto, evitando el desgaste, las temperaturas y permiten una elasticidad sin llegar a la fractura con el peso de los vehículos. [15]

3.3.5 velocity patching

Esta nueva tecnología de reparación de pavimento flexible por inyección neumática de mezclas asfálticas en frío, y su proceso se lleva a cabo en la aplicación de mezclado de asfalto en frío, grava y una emulsión a temperatura ambiente adecuada la cuales son inyectados a presión por un compresor de abajo hacia arriba con movimientos oscilantes o rectos, logrando una masa compacta y uniforme en cuanto al material aplicado, en reforma de rectángulo 10 a 20 centímetros de la superficie adyacente logrando un sellado de la superficie reparada y dando la terminación y apariencia de una pequeña carpeta asfáltica cuadrada justo al nivel del resto de la vía. [15]

3.3.6 aditivo de asfalto para mezclas en caliente

Esta tecnología de última generación desarrolló aditivos anti decapantes que se añaden en pequeñas cantidades para asfalto, por lo general en torno al 0,25 – 0,50% en peso. Tienen características de fácil manejo y se puede agregar al asfalto en un número de formas convenientes por el terminal de asfalto o el productor de mezcla caliente,

La línea NovaGrip del laboratorio *Road Science*, esta tecnología hace que la adhesión del asfalto sea más duradera, y ofrece la compatibilidad para la mezcla de varios modificadores de asfalto. [14]

3.3.7 pavimento impermeable

La compañía inglesa Tarmac desarrolló una tecnología el Topmix Permeable, un hormigón de compuesto especial que permite absorber hasta 4.000 litros de agua en sólo 60 segundos, su mecanismo de acción es bastante sencillo, pues el compuesto del Topmix Permeable está dispuesto de una manera que le permite filtrar el agua a través de su estructura. Además, esto le permite almacenar el contenido absorbido, el que es eliminado más tarde por medio de evaporación.

4. CONCLUSIONES

- Se presentó toda la información de los proyectos de investigación de la universidad Santo Tomás, y se logró concluir que los 11 materiales que se estudiaron, 7 de ellos son materiales provenientes del reciclaje, como el GCR, RAP, cenizas de Biosolidos, polímeros, por otra parte, se logró determinar el aumento de investigaciones sobre asfaltos modificados en el año 2021 de los 19 trabajos encontrados, 11 fueron elaborados en el año 2021.
- Se realizó un análisis comparativo de las ventajas y desventajas de los agentes modificadores de asfalto con base en los proyectos de investigación por parte de la universidad Santo Tomás, y se llegó a concluir que la mayoría de materiales mejoran notablemente las propiedades físicas y

mecánicas del pavimento, como la rigidez, la resistencia bajo carga, disminución del ahuellamiento, la deformación

- La información encontrada en los proyectos de investigación y documentos acerca de la modificación de mezclas asfálticas a nivel educativo y empresarial demuestra avances considerables y de mucha importancia, como el concreto permeable para pavimento flexible, aditivos de última generación, materiales reciclables (GCR, RAP, desechos industriales), materiales alternativos de origen natural, que se adaptan favorablemente a la mezcla asfáltica, lo que ha permitido su aplicación en algunos países como, Colombia, México, Chile, EE.UU, quienes buscan la optimización en los procesos de producción de mezclas asfálticas. En Colombia gracias a las diferentes instituciones de control e instituciones educativas se ha podido implementar algunas de estas tecnologías con gran efectividad.
- Finalmente se logró concluir que unas de las desventajas de todos los agentes modificadores, son los altos gastos de energía, más cantidad ensayos de laboratorios para determinar los resultados específicos, como la resistencia bajo carga cíclica, la fatiga, el envejecimiento, la adherencia, rigidez, deformaciones, también se observó que la mayoría de materiales son expuestos a altas temperaturas, otra de las desventajas que se pudo evidenciar de los proyectos de investigación consultados, son desarrollados de manera experimental, ya que muy pocas instituciones y empresas en Colombia, no cuentan con la tecnología y los recursos para ser implementados en las carreteras nacionales.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo darle gracias a Dios por la oportunidad de estudiar lo que apasiono, segundo a mi madre y a mi abuela por todo el apoyo para mi preparación profesional, y tercero agradecer a la ingeniera Dayarith Nova y a la ingeniera Jessica Ramírez por su colaboración en el proceso para el desarrollo de esta monografía y artículo.

REFERENCIAS

- [1] J. P. Suarez Ramirez y M. E. Ureña Varon, «MEZCLAS ASFÁLTICAS NO CONVENCIONALES PARA PROCESOS DE PAVIMENTACION EN FRIO Y CALIENTE,» 2021. [En línea]. [Último acceso: 16 noviembre 2021].
- [2] J. Maldonado Osorio, «ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR),» 2018. [En línea]. [Último acceso: 26 NOVIEMBRE 2021].
- [3] C. M. Diaz Claros y L. C. Castro Celis, «IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) PROVENIENTE DE LLANAS USADAS PARA MEJORAR LAS MEZCLAS ASFALTICAS,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 03 septiembre 2021].
- [4] N. Ruiz Galeano y B. Rodriguez Medina, «COMPORTAMIENTO, VIABILIDAD Y COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GRC, PARA LA FABRICACION DE UNA MEZCLA ASFALTICA,» 2016. [En línea]. [Último acceso: 16 Noviembre 2021].
- [5] L. A. Arevalo Prieto, «CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE UN LIGANTE ASFÁLTICO 60/70 MODIFICADO CON GCR Y NANOARCILLA,» 2020. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [6] J. P. Vargas, «POSIBILIDADES DE MODIFICACION DE ASFALTO CON NANO-ARCILLAS,» 2011. [En línea]. Available:

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24614/u471769.pdf?sequence=1>.
[Último acceso: 26 Septiembre 2021].

- [7] P. Y. Cabezas Lopez, «CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE UN LIGANTE ASFALTICO 60/70 MODIFICADO CON DESECHOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PDEAD),» 2020. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [8] F. Baron Ditterich y K. Duque Velasquez, «COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA POR VÍA SECA CON CENIZAS DE BIOSOLIDOS GENERADOS DE UN PTAR,» 2020. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [9] E. Guerrero Raga, «INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE MEZCLADO EN LA MODIFICACION DE UN CEMENTO ASFALTICO,» 2019. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [10] R. Villamil Rojas, «EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ELABORADAS CON RAP PROVIENIENTES DE DESECHOS,» 2020. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [11] D. A. Arias Sanches, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIVERSAS ESPECIFICACIONES ACTUALES SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES,» 2018. [En línea]. [Último acceso: 04 Noviembre 2021].
- [12] J. C. Cruz Osorio, «ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO, LA PRODUCCIÓN Y PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIPO SMA EN COLOMBIA,» 2019. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [13] A. Huertas, «METODOS CON CASCARILLA DE ARROZ,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 04 Noviembre 2021].
- [14] Arrmaz, «ADITIVOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS,» 2021. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [15] J. Coy Gonzales, «TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN COLOMBIA,» 2019. [En línea]. [Último acceso: 04 noviembre 2021].