

**Contextualización del estudio sobre la funcionalidad de las mezclas asfálticas modificadas
en la Universidad Santo Tomás**



Por:

Juan Daniel Posada Tamayo



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2022

Contextualización del estudio sobre la funcionalidad de las mezclas asfálticas

**Contextualización del estudio sobre la funcionalidad de las mezclas asfálticas modificadas
en la Universidad Santo Tomás**

Por:

Juan Daniel Posada Tamayo

Informe de práctica presentado como requisito para optar al título de Ingeniero civil

Aprobado por:

Mg. Dayarith Yohana Nova Burgos

Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

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 de la Facultad de Ingeniería civil

Tabla de Contenido

1.	Resumen.....	6
2.	Abstract	7
3.	Glosario	8
4.	Introducción	9
5.	Formulación del Problema	10
6.	Objetivos	11
6.1.	Objetivo general	11
6.2.	Objetivo específicos	11
7.	Justificación.....	12
8.	Estado del Arte	13
8.1.	Proyectos de investigación relacionado con la modificación de asfaltos, por parte de universidades externas	24
9.	Metodología	31
9.1.	Desarrollo.....	32
9.2.	Agentes modificadores utilizados en las mezclas asfálticas	33
9.3.	Ensayos de laboratorios para determinar propiedades de los asfaltos	34
9.4.	Ventajas y desventajas de los agentes modificadores de las mezclas asfálticas.....	36
1.3	Avances tecnológicos y nuevas tendencias en la aplicación de asfaltos modificados	43
9.5.	Nuevas tecnologías de asfaltos modificados para la aplicación de pavimentos	44
9.5.1.	Aditivos para mezclas tibias.....	44
9.5.2.	Aditivos para mezclas en frio	45
9.5.3.	Tecnologías de pavimento aglutinado	45
9.5.4.	Nano material en pavimentos	45
9.5.5.	Velocity patching	46
9.5.6.	Aditivo de asfalto para mezclas en caliente	46
9.5.7.	Pavimento impermeable	46
9.6.	Resultados e impactos esperados	47
10.	Conclusiones	49
11.	Referencias	50

Lista de tablas

Tabla 1, Desarrollo de objetivos	31
Tabla 2, Sedes Universidad Santo Tomás.....	32
Tabla 3, Materiales utilizados en las investigaciones.	34
Tabla 4. Lista de Ensayos de laboratorio	35
Tabla 5, Ventajas y desventajas GCR.....	37
Tabla 6, ventajas y desventajas nano-arcilla.....	38
Tabla 7, ventajas y desventajas P-DEAD	38
Tabla 8, ventajas y desventajas Biosolidos.....	39
Tabla 9, ventajas y desventajas modificación cemento asfáltico.....	40
Tabla 10, ventajas y desventajas RAP	40
Tabla 11, ventajas y desventajas mezclas drenantes.....	41
Tabla 12, ventajas y desventajas mezclas tipo SMA	42
Tabla 13, ventajas y desventajas de las cascarillas de arroz	42
Tabla 14, ventajas y desventajas de los aceites de coco y cera.....	43
Tabla 15, Resultados esperados del trabajo de grado	47
Tabla 16. Ejemplo impactos	48

1. Resumen

La presente monografía 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 Claves: Asfalto convencional, asfalto modificado, materiales alternativos, mezcla asfáltica, materiales pétreos, pavimentos, propiedades físico-mecánicas.

2. Abstract

This monograph seeks to documentally analyze the information on the research projects conducted by the Universidad Santo Tomas, about the functionality of asphalts and modified mixtures, a comparative table will be made on the advantages and disadvantages of each of the modifying agents used in the degree works in the last 5 years, then the research advances in the modification of asphalts will be shown, coming from academic and business areas that allow the implementation of new modifying agents for asphalt mixtures.

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

3. Glosario

Asfalto: Es un material bituminoso impermeable, adherente y cohesivo, proveniente del crudo de los hidrocarburos, sustancia de forma espesa de color negro, se produce a temperaturas entre los 300 y 400° y es un material utilizado para pavimentos.

Asfalto modificado: La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de todo tipo de polímeros y así como materiales naturales o alternativos, como el aceite de palma, cascara de coco y huevo, entre otros, estos agentes se incorporan a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Pavimento flexible: Es una estructura compuesta por una capa o carpeta asfáltica de material bituminoso, mezclado con agregado grueso o fino y se construye sobre un subrasante, el espesor de las capas varía dependiendo del tránsito vehicular que pasa por la zona.

4. Introducción

Hoy en día, las investigaciones a nivel mundial en materia de asfaltos modificados se desarrollan en todos los ámbitos académicos y profesionales, implementando nuevos materiales buscando el mejoramiento ajustados a las exigencias que cada vez son mayores en las estructuras del pavimento (Mejia Umbarila & Sierra Fernandez, 2017). En Colombia durante los últimos años se han desarrollado proyectos, fomentando la aplicación de diferentes agentes y aditivos para la modificación del asfalto con la finalidad de optimizar recursos y mejorar las propiedades tanto en durabilidad como en resistencia. Los proyectos que se han desarrollado solo son de ámbitos académicos y experimentales, por lo tanto, muy pocas investigaciones llegan al punto de ejecutarse, el Instituto de desarrollo Urbano de Bogotá (IDU), desde el año 2015 empezó a implementar el grano de caucho reciclado GCR en la aplicación de pavimentos en la ciudad de Bogotá.

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.

5. Formulación del Problema

En Colombia las entidades como el instituto nacional de vías (INVIAS), ha desarrollado diversas especificaciones técnicas e investigaciones sobre mezclas asfálticas modificadas y así como de instituciones académicas, con resultados que podrían impactar positivamente en la disminución de materiales pétreos y desechos para el medio ambiente, aumentar las condiciones de vida útil en los pavimentos flexibles, por tal motivo, el desarrollo de la siguiente monografía apunta a realizar una revisión bibliografía y divulgar a toda la comunidad científica todos los avances teórico-prácticos que ha desarrollado actualmente la universidad Santo Tomás y otras instituciones educativas.

Las investigaciones realizadas por parte de la universidad Santo Tomás en Colombia, relacionadas con la utilización de asfaltos modificados en las obras civiles han ido creciendo a través del tiempo con el fin de mejorar las características de las mezclas asfálticas. Es muy importante estudiar dichos proyectos de investigación e identificar las ventajas y desventajas de cada agente modificador; analizando la metodología, objetivos y conclusiones de cada trabajo investigativo realizado hasta el momento, y así poder direccionar las nuevas investigaciones sobre los materiales que presenten mejoras en las propiedades de los asfaltos y evaluar su incidencia en el mejoramiento de los pavimentos flexibles.

De acuerdo a lo anterior se plantea la siguiente hipótesis ¿La universidad Santo Tomás si ha contribuido a la comunidad científica de manera teórica/práctica sobre el estudio del uso de mezclas asfálticas modificadas en los pavimentos en Colombia?

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Analizar documentalmente la información sobre los proyectos de investigación realizados por parte de la Universidad Santo Tomás, acerca de la funcionalidad de mezclas asfálticas y su proceso de modificación como propuesta de diseño y desarrollo en los pavimentos en Colombia.

6.2. Objetivo específicos

- Recopilar información del desarrollado sobre el funcionamiento del uso de las mezclas asfálticas en Colombia con base en los proyectos de investigación realizados por los ingenieros civiles egresados de la Universidad Santo Tomás.
- Realizar un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de cada uno de los agentes modificadores utilizados en los trabajos de grado de los últimos 5 años de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás.
- Mostrar 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.

7. Justificación

En el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando son sometidas a niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura. (Rondon, y otros, 2007). De lo anterior, surge el objetivo de investigación de la presente monografía que es relacionar el estudio *a priori* sobre la funcionalidad de las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos, y la modificación que experimentan hoy en día para favorecer factores como la eficiencia y el impacto ambiental derivado del uso de las mezclas asfálticas modificadas.

Los antecedentes investigativos provenientes del tema de estudio, componen el epicentro de desarrollo de esta propuesta, por lo que se considera de tipo descriptiva- cualitativa, ya que se recuperará literatura de origen secundario, proveniente de trabajos de investigación avalados por instituciones formativas de pregrado y posgrado, artículos científicos, libros, informes de carácter gubernamental, y otra información obtenida por plataformas científicas, las cuales permitan construir un contexto teórico y experimental sobre la funcionalidad de las mezclas asfálticas en Colombia, y el proceso de introducción de las mezclas modificadas como elemento de desarrollo y competitividad.

Esta monografía tiene como objetivo elaborar un material concluyente que describa la eficiencia de todo el proceso constructivo de pavimentos de acuerdo al objetivo de esta investigación.

Finalmente, el impacto de esta monografía descriptiva y analítica pretende servir de herramienta de profundización e información para profesionales, que se encuentren en su proceso formativo, o bien ejerciendo la disciplina.

8. Estado del Arte

Para la construcción del estado del arte se determinaron puntos claves del desarrollo de las investigaciones como son objetivos, problema de investigación, tipos de aditivos, metodología, ensayos realizados, resultados, recomendaciones y conclusiones. Luego de tener la totalidad de los proyectos resumidos que en total se encontraron 30 proyectos de investigación de pregrados, posgrados y artículos, 19 por parte de la Universidad Santo Tomás, en este caso se recopilaron 11 proyectos por instituciones educativas externas para complementar más información sobre la investigación, se procedió a realizar el análisis del estado del conocimiento de los desarrollos realizados en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas en Colombia.

El estado del arte, se desarrolló por orden de sede con mayor índice de investigación en el tema de modificación de asfaltos, y por orden cronológico de los proyectos más antiguos a los más modernos por parte de la Universidad Santo Tomás incluyendo sede, Bogotá, Tunja, Villavicencio y Bucaramanga.

- **SEDES UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

1. ***“EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE REUTILIZACIÓN DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO EN EL PROCESO DE MEZCLA ASFÁLTICA Y MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO”*** (Montes Urrego & Diaz Alarcon, 2016)

(Sede Bogotá)

Los autores de este proyecto plantearon un posible uso alternativo de una resina de intercambio iónico (IEX), este material es hecho de un tipo de polímero, cuando su vida útil ya ha terminado; incluyendo la resina de intercambio iónico dentro de una mezcla asfáltica o una mezcla de mortero de cemento hidráulico. Para lograr incluirla la resina en la producción de las mezclas asfálticas y de mortero de cemento hidráulico se inició realizando el análisis granulométrico del material, para definir la fracción de agregado que sería remplazada en cada una de las mezclas. Para la producción de probetas de mezcla asfáltica se siguieron las especificaciones técnicas establecidas en el Artículo 450-13 de INVIAS. Las probetas fabricadas

fueron sometidas a pruebas de estabilidad y flujo Marshall (Norma INV E 748-13) y susceptibilidad a la humedad (Norma INV E 725-13). En cuanto a la producción y ensayo de cubos de mortero de cemento hidráulico, se siguió el procedimiento descrito en la Norma INV E 323-07 y se sometieron los cubos a la prueba de resistencia a la compresión.

2. “IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) PROVENIENTE DE LLANTAS USADAS PARA MEJORAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y GARANTIZAR PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN BOGOTÁ”
(Díaz Claros & Castro Celis, 2017)

(Sede Bogotá)

Los autores de este proyecto realizaron diferentes investigaciones a nivel internacional donde se demuestra que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas en los pavimentos y mitigar impactos ambientales que genera el mal manejo de las llantas deshechas. La adición de GCR para la modificación en las mezclas asfálticas, mejora notablemente las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, debido a las investigaciones que se han avanzado en los últimos años, han demostrado que este tipo de modificaciones son más durables con respecto a las convencionales, económicas a largo plazo pues se disminuyen los mantenimientos y aumenta su durabilidad, además contribuyen a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente como lo son, la quema indiscriminada de las llantas desechadas dando paso a las emisiones de CO₂, uno de los gases tóxicos más contaminantes del mundo causantes del calentamiento global, entre otros.

3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS SOBRE EL USO DEL GRANO DE CAUCHO MODIFICADO (GCM) PARA LA UTILIZACIÓN POR VÍA SECA EN EL DISEÑO DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN BOGOTÁ” (Dueñas Rodríguez & Calume Figueroa, 2017)

(Sede Bogotá)

Este trabajo de investigación desarrollado por el ingeniero Alejandro Figueroa, y la ingeniera Ana Rodríguez, el objetivo de este trabajo es recopilar información y analizar la

determinación de la viabilidad del uso de caucho reciclado en el diseño de asfaltos por vía seca que puedan ayudar a los arreglos de carreteras en la ciudades, tanto en factores económicos como en mejoramiento de las propiedades mecánicas del asfalto que garantice una reducción en las emisiones de ruido así como un aumento en la vida útil del pavimento, con el fin de brindar un documento que sirva de apoyo para posibles investigaciones en el tema.

Realizaron un estudio donde se muestra detalladamente cada uno de los procedimientos experimentales sobre las mezclas de asfalto gaucha, un proceso seco, para el estudio de las proporciones que garantice el óptimo funcionamiento en el diseño de la carpeta asfáltica, y la utilización de la misma en climas con temperaturas intermedias o bajas, como los encontrados en la ciudad de Bogotá.

4. “ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIVERSAS ESPECIFICACIONES ACTUALES SOBRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES Y SU APLICACIÓN EN LAS NORMATIVAS COLOMBIANAS” (Arias Sanches, 2018)

(Sede Bogotá)

El autor de este proyecto de investigación, mediante una revisión bibliográfica de la norma ASTM, pretende, realizar una recolección exhaustiva de las especificaciones más relevantes a nivel mundial, las cuales servirán como línea de tiempo y estado del arte de los distintos métodos para la fabricación de las mezclas asfálticas drenantes, así como de su aplicación, beneficios y limitaciones. Todo lo anterior permitirá generar conclusiones y recomendaciones para su aplicación en Colombia.

El objetivo de esta investigación es buscar que normativa en Colombia se tiene sobre las mezclas asfálticas drenantes, así mismo se realizara comparación de las normas con entidades europeas, buscar los criterios de diseño no existentes, ventajas, limitaciones, evoluciones, para la implementación de estas mezclas en los pavimentos de Colombia.

5. “UTILIZACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL (MAN), PROCEDENTE DE LA MINA SAN PEDRO, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ARMERO GUAYABAL, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, COLOMBIA, CON ADICIÓN DE GRÁNULO DE CAUCHO RECICLADO (GCR), PARA REPARCHEO LOCALIZADO. REPARCHEO ECOLÓGICO.” (Villegas Camargo & Wilches Gomez, 2019)

(Sede Bogotá)

El presente trabajo de investigación fue presentado como opción de grado para optar por el título de magister en infraestructura vial por parte de los autores, su proyecto fue realizado en función de la evaluación, la comparación y la producción de un material asfáltico 100% ecológico que se caracterizara por ser sostenible. El estudio se basó en la recuperación de llantas usadas y la combinación de otros materiales naturales para la obtención de una mezcla asfáltica modificada con propiedades de granulo de caucho el cual le aporte especificaciones técnicas como estabilidad, adherencia, disminución de ruido (con respecto a su elaboración) etc.

El objetivo final del proyecto de investigación tuvo lugar en la disminución de los tiempos de ejecución y problemas de movilidad, sin dejar a un lado un trabajo más limpio y sin materiales de escombros; resolviendo fuertes incidentes técnicos de los reparcheos y juntas deterioradas.

La caracterización de esta mezcla asfáltica permite al presente informe académico la identificación de las desventajas en la utilización de la mezcla asfáltica natural (MAN) adicionada con Gránulo de Caucho Reciclado (GCR) para bacheo localizado, a su vez el reconocimiento al seguimiento del estudio de la modificación de la mezcla y el control de calidad que se debe tener para este tipo, recordando que requiere mayor rigurosidad que de otro tipo de mezclas asfálticas en caliente.

6. “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA MODIFICADA CON ESCORIA DE ALTO HORNO ESTABILIZADA CON UN ADITIVO QUÍMICO” (Romero Romero & Valencia Campo, 2019)

(Sede Bogotá)

El autor de este proyecto realiza una hipótesis del estudio se debe mencionar, que la importancia del uso de un aditivo que emule el comportamiento de la Zeolita (aditivo HUSIL) y la escoria de alto horno radica principalmente en lograr mejorar o mantener las propiedades mecánicas que se obtienen en las mezclas asfálticas en caliente convencionales tipo MDC 19, mientras se reduce la temperatura de la mezcla a una tibia (al menos 20°C), constituyéndose en una alternativa ecológicamente viable como material para la conformación de capas asfálticas en pavimentos flexibles; lo que hace necesario experimentar el comportamiento de estos materiales en condiciones no exploradas en los estudios llevados a cabo con anterioridad.

7. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE MEZCLADO EN LA MODIFICACIÓN DE UN CEMENTO ASFÁLTICO (Guerrero Raga, 2019)

(Sede Bogotá)

El autor de este proyecto, pretende realizar una investigación, sobre la influencia que tiene la temperatura y los tiempos de exposición a los que son sometidos los asfaltos modificados por vía húmeda y evaluar sus propiedades físico-mecánicas de ligante asfáltico, el autor realizó 3 ensayos de laboratorio, con un ligante de asfalto 60/70, con 3 temperaturas y tiempos de mezclados diferentes, y comparar los resultados obtenidos por los ensayos, con el fin de evaluar el desempeño de estas mezclas a cargas monotónicas.

“Cuando el cemento asfáltico es modificado por vía húmeda, éste es mezclado con el aditivo a elevadas temperaturas durante un tiempo predeterminado. La temperatura y tiempo de mezcla de ambos componentes depende principalmente del tipo de aditivo que se utilice, Con base en los resultados obtenidos de los laboratorios realizados en el presente estudio, se permite concluir que, las temperaturas y los tiempos de exposición a los cuales son sometidos los cementos asfálticos durante el proceso de modificación de los mismos por vía húmeda, influyen

de manera directa en la respuesta mecánica que experimenta una mezcla MDC-19. (Guerrero, 2019)

8. “COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOMECAÑICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON UNA DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO” (Orjuela Gonzales & Jiménez Moreno, 2020)

(Sede Bogotá)

Los autores de este proyecto pretenden realizar un estudio de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en comparación con una mezcla modificada con adición de un grano de caucho reciclado (GCR), y para ellos los autores se basaron de información que fue suministrada por plantas productoras de asfalto ya sea convencional o modificado con (GCR).

De esa manera los autores verificaron si el GCR presenta mejores en las propiedades físico-mecánicas en comparación de una mezcla convencional y por ultimo realizaron los cálculos para los parámetros de espesores, que les permita disminuir el espesor, y así mismo obtener una relación costo/beneficio de las dos mezclas.

Para el desarrollo del proyecto los autores realizan una recopilación de datos de distintas plantas, y en el instituto de desarrollo urbano (IDU), donde obtuvieron contratos para mayor información sobre la investigación.

9. “ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO, LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIPO SMA, EN COLOMBIA” (Cruz Osorio, 2020)

(Sede Bogotá)

La siguiente monografía tiene como finalidad analizar cuáles son los requerimientos para la producción y la utilización de mezclas asfálticas tipo SMA en Colombia, debido a que este tipo de mezcla no se ha fabricado en Colombia a pesar de sus ventajas comprobadas. Este tipo de mezcla puede contribuir de manera positiva a las vías en Colombia, ya que tiene una vida útil

mucho mayor que las mezclas asfálticas convencionales y es más resistente a la fatiga y el ahuellamiento, gracias que su matriz que está compuesta por agregados gruesos.

10. “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ELABORADAS CON RAP PROVENIENTE DE DESECHOS DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO Y DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO VIAL QUE ESTÁN SIENDO APLICADAS EN VÍAS RURALES DE BOGOTÁ.” (Villamil Rojas, 2020)

(Sede Bogotá)

Los autores de este documento exponen los resultados de un estudio de caso en el que se aplicó residuos de pavimento asfáltico (RAP) para hacer el mantenimiento de algunos tramos de la Red Vial rural de las Localidades de Sumapaz y Usme en la Ciudad de Bogotá. El proceso se inicia con la auscultación realizada sobre algunos sectores que presentaron fallas prematuras a los cuales se les efectuó una inspección visual, análisis de laboratorio, así como, ajustes en la elaboración de las mezclas y en los procesos de construcción. El fundamento teórico de los análisis se realizaron con los procedimientos establecidos en las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías INVIAS, del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, las normas de ensayo de materiales de estas dos entidades y documentación disponible de entidades internacionales de carreteras como el Departamento de Transportes de los Estados Unidos, de los Estados de Minnesota y algunas investigaciones realizadas por varias universidades del país.

1. “CENIZAS DE BIOSÓLIDO DE PTAR COMO LLENANTE MINERAL EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIPO MDC-19” (Lara Lopez, 2016)

(Sede Tunja)

La autora de este proyecto plantea realizar una investigación donde se evalúa una alternativa de valorización para el biosólido usándolo como sustituto parcial o total del filler en la elaboración de mezclas asfálticas tipo MDC 19. Para cumplir con el propósito del proyecto se realizan los siguientes procesos: Recolección y caracterización de las materias primas, diseño de

mezcla para MDC 19 (determinación del contenido óptimo de asfalto) y sustitución del filler por la ceniza de biosólido en porcentajes del (0%, 25%, 50%, 75% y 100%).

2. “IMPLEMENTACIÓN DE ESCORIA NEGRA DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (ENHAE) COMO AGREGADO GRUESO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA” (Novoa Mendivelso, 2018)

(Sede Tunja)

El autor de este proyecto de investigación, establece como alcance un diseño de mezcla basado en el reemplazo del agregado grueso por la escoria garantizando el cumplimiento de los requerimientos mecánicos y físicos, y como contraparte limitante de investigación el componente ambiental, considerando los requerimientos de tiempo para realización del mismo no menor a 20 años, y el componente relacionado a la composición química de la escoria.

El objetivo de este proyecto es determinar la estabilidad y el flujo de las mezclas asfálticas tipo MDC-19, incorporando la escoria negra como agregado, el autor también pretende el porcentaje óptimo de (ENHAE), para un tránsito NT3, así como las propiedades físico – mecánicas de este agregado.

3. “IMPORTANCIA DE LA RESISTENCIA Y VIDA ÚTIL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON GCR EN COLOMBIA” (Alarcon Figueroa, Chaparro Diaz, & Sanchez Suarez, 2020)

(Sede Tunja)

El proyecto de investigación de estos autores para optar como especialistas en geotecnia vial y pavimentos, realizaron un artículo, referente a la investigación sobre la implementación de grano de caucho reciclado (GCR), para la modificación de mezclas asfálticas, con el fin de divulgar a la comunidad científica sobre estas investigaciones.

Los autores realizan investigaciones de la importancia del GCR en Colombia, de manera teórica, recopilando información sobre el impacto ambiental que generan estos materiales

procesados a base de caucho, el presente artículo detalla el uso de estos residuos para mejorar la infraestructura vial, mitigar los impactos negativos, aplicando el GCR.

4. “COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE FABRICADAS CON RAP Y ESCORIAS DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO” (Higueroa Mojica & Morales Pacheco, 2021)

(Sede Tunja)

En el presente trabajo de investigación aborda la mezcla asfáltica como principal insumo para la conformación de su estructura, implementando materiales reciclables como lo es reciclado de pavimentos asfálticos (Recycled Asphalt Paviment (RAP)) y escorias de horno de arco eléctrico en mezclas densas en caliente (MDC-19); se optó por realizar el estudio con el fin de obtener una mezcla asfáltica optima con la adición de los materiales mencionados anteriormente, garantizando así un buen comportamiento mecánico gracias al ensayo de laboratorio Marshall que especifica el Instituto Nacional De Vías (INVIAS) en la sección 748 cuyo objetivo es determinar la estabilidad y flujo de la mezcla.

1. “CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE UN LIGANTE ASFÁLTICO 60/70 MODIFICADO CON GCR Y NANOARCILLA” (Arevalo Prieto, 2020)

(Sede Villavicencio)

Este trabajo de investigación es realizado por la egresada de la universidad Santo Tomás de la facultad de ingeniería civil, Luisa Alejandra Arévalo Prieto, pretende caracterizar un ligante asfáltico 60/70, determinar la incorporación de la nano arcilla en un 2% y un 3% a un ligante asfáltico 60/70 modificado con 10% GCR, presenta características físicas óptimas, indicando que este material aporta un componente de viscosidad, rigidez y resistencia a altas temperaturas, en comparación con el ligante asfáltico convencional.

Para este proyecto se utilizaron grano de caucho natural (GCR), adquirido de la empresa Satélite S.A.S, la nano-arcilla de la empresa bentonitas colombianas S.A.S (NA), y el ligante asfáltico 60/70 de la empresa Pasolin S.A.S (LA).

Por otra parte, en comparación al ligante asfáltico base 60/70 el cual presenta un punto de ablandamiento a una temperatura de 48 °C como se evidencia en la tabla 8.1, se puede determinar que adición de GCR y nana arcilla le proporciona al asfalto una mayor rigidez y viscosidad permitiéndole tolerar una mayor resistencia a las altas temperaturas.

2. “*CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE UN LIGANTE ASFÁLTICO 60/70 MODIFICADO CON DESECHOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (D-PEAD)*” (Cabezas lopez, 2020)

(Sede Villavicencio)

La ingeniería Paula Cabezas, plantea en su trabajo de investigación modificar un ligante asfáltico 60/70 con desechos de polietileno de alta densidad, realizara pruebas de laboratorio efectuando tres diferentes cantidades (D-PEAD) para determinar si cumple con los parámetros establecidos por el invias y su calidad del asfalto modificado y su resistencia a las cargas vehiculares.

Los resultados obtenidos en esta investigación nos indican que el asfalto modificado con más del 8% desechos de polietileno de alta densidad disminuye la penetración del material, lo que genera la aparición de asfaltos más rígidos, con menos manejabilidad y consistencia. Así mismo se observó que el punto de ablandamiento de este material es mucho mayor que el del asfalto convencional La modificación realizada al asfalto con 6%D-PEAD, es menos rígida que el asfalto convencional, sin embargo, su punto de ablandamiento es mayor al que registra el asfalto 60/70 por lo que se puede decir que este material es menos viscoso a medida que se eleva la temperatura, lo cual podría mejorar el comportamiento ante las cargas cíclicas y aumentar la vida útil del pavimento. (LOPEZ, 2020)

3. “COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA POR VÍA SECA CON CENIZAS DE BIOSÓLIDOS GENERADOS POR LA PTAR DE ACACIAS, META” (Baron Ditterich & Duque Velasquez, 2021)

(Sede Villavicencio)

Este proyecto los autores plantean evaluar las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica caliente siendo modificada con cenizas de Biosolidos, con el fin de minimizar el volumen exponencial de los residuos sólidos, que son vertidos en afluentes y su mal tratamiento, y disposición de los entes responsables, pueden afectar la calidad del agua del consumo humano. A parte de lo anterior los autores realizaran una caracterización del asfalto modificado, a través de ensayos de laboratorios, y por ultimo determinaran el contenido óptimo de partículas en biosolido en el asfalto modificado.

Para el desarrollo del proyecto los autores obtuvieron el ligante asfaltico de la empresa PASOLIN S.A.S, para la emulsión asfáltica, realizaron varios ensayos entre ellos el de penetración, punto de ablandamiento y de ignición. La selección del biosolido se tuvieron en cuenta la PTAR de acacias, para conocer cuáles son los residuos óptimos para la investigación, luego de esto se realizaron un pretratamiento de los residuos para su respectiva utilización

4. “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO (MDC-19) CON DIFERENTES PORCENTAJES DE REEMPLAZO DE ARENA POR RELAVES DE LA MINERÍA DE AGREGADOS DEL RIO GUAYURIBA” (Arango Roldan & Sorza Rojas, 2021)

(Sede Villavicencio)

Los autores de este proyecto plantearon la modificacion de una mezcla asfaltica en caliente con residuos de agregados de mineria, para determinar si cumple con los parametros del INVIAS, realizaron una recopilacion de informacion sobre el comportamiento mecanico de las mezclas asfalticas en caliente MDC-19 convencional, para asi compararla con la mezcla modificada con estos residuos de mineria.

Para la realizacion este proyecto, nesecitaron determinar la caracterizacion fisica de los agregados, asi como el porcentaje optimo de 4 - 4.5 – 5 - 5,5% de cemento asfaltico para el

diseño de la mezcla, y por ultimo una comparacion de resultados obtenidos, y su relacion mezcla/%optimo.

5. “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PARÁMETROS PARA LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-25 CON UNA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-25 MODIFICADA CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.”
(Herrera Moreno, 2021)

(Sede Bucaramanga)

El autor de este proyecto, realiza la comparación de dos mezclas asfálticas MDC-25, una convencional y la otra contiene distintos porcentajes de GCR, estas mezclas asfálticas en caliente son muy utilizadas en los pavimentos de Villavicencio, por ende, este proyecto está orientado en esa zona departamental, esto con el fin de minimizar el impacto ambiental generado por la contaminación de residuos de llantas.

En esta investigación se determinará los parámetros de flujo y estabilidad de las dos mezclas, su comparación de presupuesto y las ventajas y desventajas de ambas mezclas.

Para su posterior elaboración los autores se basaron en una metodología experimental y comparativa, se realizará un análisis a través de ensayos de laboratorio, teorías, experimentos, toda esta investigación fue basada en la reglamentación del INVIAS.

8.1. Proyectos de investigación relacionado con la modificación de asfaltos, por parte de universidades externas

1. “PROPIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS Y MECÁNICAS DE UN CEMENTO ASFÁLTICO 80/100 MODIFICADO POR VÍA HÚMEDA CON ADICIÓN DE CORCHO” (Forero bernal, Garcia Medina, & Martinez Torres, 2015)

Universidad la Gran Colombia

Los autores de este trabajo de investigación comprenden la utilización del corcho como material alternativo para modificar el ligante asfáltico 80/100 por vía húmeda con el fin de

aprovechar las propiedades que este residuo tiene, tales como: elasticidad, impermeabilidad a líquidos y gases, aislante térmico y acústico, alto poder de fricción, resistencia al desgaste mecánico, compresibilidad, durabilidad, entre otros. Es una investigación en curso, donde inicialmente se identificarán propiedades a partir de los ensayos reológicos y mecánicos, para posteriormente con estos resultados se propongan nuevas investigaciones futuras al respecto. Por consiguiente, tomando las características que ofrece el corcho y en la carencia de investigaciones relacionadas con la utilización de este en Colombia, el objetivo de incluir el corcho en el pavimento para el análisis del comportamiento de la mezcla asfalto-corcho, es ampliar el rango de materiales reciclables que se pueden utilizar para generar mejores mezclas asfálticas.

2. “MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE A PARTIR DE ASFALTO NATURAL CON ADICION DE FIBRA DE COCO” (Landines Saurith & Tovar Moreno, 2016)

En este proyecto de investigación los autores realizan una identificación de materiales para generar una mezcla asfáltica que disminuya el impacto ambiental a los métodos convencionales, se utilizó asfalto natural o mapia, para implementarla con un % de fibras de coco, con el fin de evaluar 3 mezclas diferentes, una con asfalto natural, la segunda con fibras de coco, y la tercera una mezcla de 1 y 2. Se realizaron los respectivos ensayos correspondientes para evaluar la resistencias de las mezclas en caliente, y obtener los resultados para determinar las condiciones y propiedades de los materiales, y analizar cuál de todos se acondiciona a los objetivos planteados.

3. “EVALUACION DEL EFECTO DE ENVEJECIMIENTO DEL CEMENTO ASFALTICO 80/100 MODIFICADO CON LIGNINA EN EL HORNO DE PELICULA DELGADA” (Ramirez Teatin & Florez Azuero, 2016)

Universidad Piloto de Colombia

Los autores de este proyecto desarrollaron un análisis con el fin de evaluar el comportamiento y la estructura interna a largo plazo de un cemento asfaltico modificado con lignina, ya que este es un material antioxidante natural, es uno de los polímeros muy abundantes en las regiones, por su contenido dureza y resistencia, con el fin de mejorar las propiedades

físico-reológicas de las mezclas asfálticas, para poder minimizar la aparición de grietas, piel de cocodrilo, entre otros fenómenos, esta investigación para la caracterización del material se realizó mediante los ensayos rotatorio de película delgada (Rolling thin film oven rtfo).

4. “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO TIPO 2 (MDC-19) CON ADICIÓN DE POLÍMEROS”(Conejo, Poveda & Vargas, Camacho, 2017)

La elaboración del informe se dio a partir de la caracterización de agentes polímeros y sus propiedades mecánicas en comparación de con las mezclas densas en caliente o concreto asfáltico; inicialmente el análisis documental tuvo como objeto la descripción de algunos ensayos de laboratorio donde se estudió la resistencia al desgaste, el contenido de impureza, geometría de partículas, adherencia entre otras especificaciones de cada uno de los materiales; lo que resulto como factor concluyente que la adición de polímero propone mejores condiciones comparado con los rangos propuestos en el Manual de Diseño de Pavimentos de INVÍAS y que corresponde a la reglamentación para la construcción de pavimentos asfálticos en el país.

Adicionalmente Orienta a investigaciones como está a la evaluación del diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros a partir del método descrito por la AASHTO; finalmente es pertinente para el presente informe académico considerar algunos de los elementos que están contenidos en esta construcción investigativa puesto que refleja el seguimiento que se le ha puesto en marcha al uso de materiales de un solo propósito y la intencionalidad de resarcir no solo en la eficiencia de los concretos asfálticos sino a su vez en el recurso ambiente.

5. “PREFACTIBILIDAD DE USO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS FABRICADAS CON GOMA DE NEUMÁTICO FUERA DE USO Y AGREGADOS DE LA REGIÓN DE TUNJA” (Camacho Vega & Vargas Porras, 2017)

Corporación Universitaria Uniminuto

Los autores de este trabajo de investigación contienen lo que en términos generales describe la investigación manera. Inicialmente se presentan unas generalidades sobre las mezclas asfálticas modificadas. Luego se describen los materiales granulares de la cantera “Agregados

Santa Lucía” y el asfalto suministrado por Manufacturas y Procesos Industriales (MPI), siguiendo el procedimiento de las especificaciones señaladas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Se realiza un estudio de 5 mercado, posteriormente se realiza un análisis ambiental, luego se realiza un análisis de precios unitarios de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con polímeros. Finalmente se muestran las respectivas conclusiones y recomendaciones de la investigación.

6. “ESTUDIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS CON ADICIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS” (Lemus Ballesteros, Mosquera Benavides, & Virviescas Barbosa, 2018)

Universidad Católica de Colombia

Este trabajo de grado se enfoca en el aprovechamiento del pavimento asfáltico reciclado RAP, estudiando el efecto que se tiene en el desempeño de una mezcla asfáltica densa modificada con grano de caucho reciclado GCR y ácidos grasos de origen natural (aceite crudo de palma y cera carnauba), estos últimos para reducir las temperaturas de manejo (mezclado y compactación), con el fin de optimizar las propiedades del asfalto en la mezcla y reducir la problemática ambiental que se presenta en el empleo de altas temperaturas en la fabricación de mezclas asfálticas convencionales y durante la explotación de materiales nuevos –vírgenes-, provenientes de fuentes como canteras y ríos.

7. “ESTUDIO DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON ACEITE RESIDUAL DE MOTOR” (Mosos Arango, Mosos Guzman, & Gomez Martinez, 2018)

Universidad Católica de Colombia

Los autores de este proyecto de investigación buscan plantear una alternativa para la reincorporación del aceite de motor residual a su ciclo productivo mediante el análisis de ensayos de laboratorio que estudian la posibilidad de incorporar aceite de motor usado al asfalto. Es importante resaltar que a través de los ensayos realizados se busca introducir la mayor cantidad

de aceite residual posible a la matriz de mezclas asfálticas, garantizando el cumplimiento de los requisitos especificados por la norma 450-13 de INVIAS.

8. “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ”(Parra, Bechara & Gallo, Ortiz, 2018)

Universidad de Ibagué

El informe académico respaldado por la Universidad de Ibagué en colaboración con algunos estudiantes de ingeniería civil describe el impacto ambiental de las cenizas de cascarilla de arroz, proceso industrial que no es esta completamente regulado, dado que sus residuos finales (cenizas) terminan convirtiéndose en basura con el tiempo; el proyecto tiene como finalidad estudiar los efectos que tiene el RHA(termino científico para determinar las cenizas) como agente modificador del asfalto convencional.

Este proyecto permite el reconocimiento de las diversas fuentes de material para la producción de mezcla asfáltica modificada, a partir del análisis documental se considera que este tipo de investigaciones podrían influir positivamente en el recuento y contextualización de las investigaciones hechas para destacar el mejoramiento de las propiedades mecánicas y reológicas de estos agentes bituminosos.

9. “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN ASFALTO MODIFICADO CON POLICLORURO DE VINILO (PVC) Y GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR)” (Lozano Castellanos & Reyes Tafur, 2020)

Universidad de Ibague

Los autores de esta investigación evalúan los valores promedios de las variables probadas en muestras testigo de cemento asfáltico convencional, frente a las de este, mezclado con grano de caucho reciclado proveniente de llantas desechadas (GCR) y con poli cloruró de vinilo (PVC), en diferentes proporciones en volumen, Las variables de rigidez, resistencia a fluir, viscosidad y susceptibilidad térmica se evalúan mediante los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, viscosidad rotacional y el cálculo del índice de penetración. La variable de adhesión mediante los ensayos de stripping y adherencia en bandeja. El análisis de la influencia del GCR y el PVC del

cemento asfáltico se desarrolla comparando las propiedades físicas y reológicas entre la muestra sin modificar y las muestras modificadas.

10. “PROTOCOLO PARA LA ELABORACION DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON INCORPORACIÓN DE ESCORIA SIDERÚRGICA COMO LLENANTE MINERAL”

(Tamayo Lopez & Bolivar Bautista, 2020)

Universidad Católica de Colombia

El presente documento contiene una revisión bibliográfica sobre el uso de la escoria siderúrgica en la industria de los pavimentos, la metodología de modificación y procedimiento experimental de la mezcla asfáltica en sus diferentes escalas. Finalmente, se presentan los resultados esperados y conclusiones de esta investigación.

En ingeniería civil se tiene responsabilidad con el medio ambiente es por esa razón que para esta averiguación recomienda la técnica de adición de la escoria proveniente de la industria siderúrgica y el protocolo de ensayo para evaluar el funcionamiento bajo condiciones de humedad relativa para lograr conseguir este objetivo, se hizo un estudio multiescalar (micro, meso y macro), comprender las 3 escalas de los materiales asfálticos (i.e. Micro -masticos, Meso-mezcla asfáltica fina y Macro-mezcla asfáltica en caliente).Una mezcla asfáltica modificada con este material.

11. “MEZCLAS ASFÁLTICAS NO CONVENCIONALES PARA PROCESOS DE PAVIMENTACIÓN EN FRÍO Y CALIENTE” *(Suarez Ramírez & Varon Ureña, 2021)*

Universidad Cooperativa de Colombia

Los autores de este proyecto de investigación evalúan una revisión de conceptos generales referentes a los cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos líquidos empleados en pavimentos. En seguida, se profundiza en el significado de mezclas asfálticas en frío y caliente, definiendo sus componentes, clasificación y usos, metodologías de diseño más comunes, las buenas prácticas en los procesos fabricación y puesta en obra, las limitaciones más comunes como son el cubrimiento de los pétreos, la trabajabilidad y el curado. Al final, se

incluye las características de las mezclas asfálticas en frío y caliente, modificadas con adiciones de cáscara de coco, fibras de PET, grano de llantas, hule, entre otros.

Por último, se presenta una serie de conclusiones y recomendaciones tomando como base los objetivos establecidos para el progreso del presente documento, buscando una posición crítica respecto del desempeño de emulsiones asfálticas no convencionales para procesos de pavimentación en frío y caliente como una alternativa sustentable y económicamente viable. 10 Igualmente, se quiere plantear la necesidad de futuros trabajos donde se realice investigaciones en nuestro país demostrando el comportamiento de dichas mezclas, con lo cual se logre incentivar a productores y constructores a explorar de manera masiva en el uso de emulsiones no convencionales.

9. Metodología

La siguiente monografía está basada y desarrollada en una revisión y análisis de información de distintas fuentes bibliográficas en el tema de asfaltos modificados, con la finalidad de realizar un estado del conocimiento que contenga la información pertinente para el desarrollo de la presente investigación, y que permita exponer al lector los aspectos concernientes al tema de la modificación de mezclas asfálticas y su posible uso en obras de infraestructura.

Tabla 1, Desarrollo de objetivos

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Recopilar información sobre el funcionamiento del uso de las mezclas asfálticas en Colombia con base a los proyectos de investigación realizados por los ingenieros civiles de la universidad Santo Tomás	Por medio de una revisión bibliográfica, se creará un estado del conocimiento de todos los proyectos de investigación de la universidad Santo Tomás relacionados con la modificación de mezclas asfálticas por parte de ingenieros egresados tomasinos.	Se revisará cada uno de los proyectos de investigación, y se desarrolló representaciones gráficas para finalmente analizar los agentes modificadores (naturales o sintéticos) y los ensayos de laboratorio que fueron implementados y aplicados en los proyectos de investigación.	Juan Posada Daniel
Analizar las ventajas y desventajas de cada uno de los agentes modificadores utilizados en los proyectos de investigaciones de los últimos 5 años en la universidad Santo Tomás.	Se realizará una comparación de los agentes modificadores que fueron implementados en las mezclas asfálticas con el fin de determinar las propiedades físico-mecánica de los agentes modificadores.	Se desarrollara un cuadro comparativo donde indique todas las ventajas y desventajas de los materiales modificadores tanto como el comportamiento ante las cargas cíclicas, beneficios mecánicos, ambientales y económicos.	Juan Posada Daniel

Tabla 1. Continuación

Mostrar 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.	Por medio de plataformas virtuales se realizará una recopilación de información sobre los avances más tecnológicos que se han realizado hasta en la actualidad, en el tema de modificación en mezclas asfálticas.	Se expondrá al lector una línea de tiempo que muestra cómo ha sido el desarrollo de esta tecnología en nuestro país, los aportes que se han hecho a nivel de investigación desde cada una de las entidades públicas y privadas que se encargan de desarrollar y vigilar los avances tecnológicos para implementarlos en la infraestructura vial del país.	Juan Daniel Posada
---	---	---	--------------------

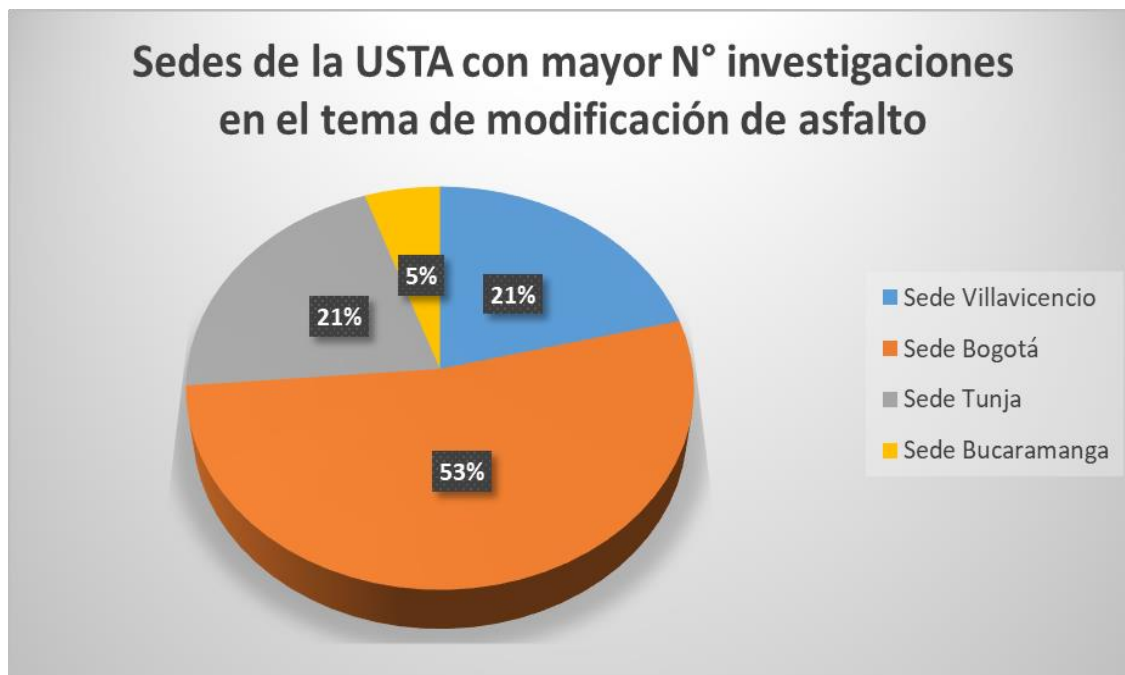
9.1. Desarrollo

La Universidad Santo Tomás, en especial las facultades de Ingeniería Civil, de todas las sedes del país, han formulado proyectos de investigación enfocados en el desarrollo de modificación de mezclas asfálticas, ya sea por medio natural o sintético, que son implementados en las mezclas asfálticas ya sea por vía húmeda o seca, esto con el fin que puedan aumentar la durabilidad y consistencia del pavimento.

Tabla 2, Sedes Universidad Santo Tomás

Categoría	Cantidad
Sede – Bogotá	10
Sede – Tunja	4
Sede – Villavicencio	4
Sede – Bucaramanga	1
Total	19

Figura 1, Sedes con más investigaciones.



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

9.2. Agentes modificadores utilizados en las mezclas asfálticas

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

Tabla 3, Materiales utilizados en las investigaciones.



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.

9.3. Ensayos de laboratorios para determinar propiedades de los asfaltos

La siguiente lista resumen los diferentes ensayos de laboratorio permitidos y las especificaciones técnicas por el INVIAS, con respecto a la elaboración de asfaltos modificados.

Tabla 4. Lista de Ensayos de laboratorio

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 E 712-13). Pro
	Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall (INV E-748-13)

Tabla 4. Continúa

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)

9.4. 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, objetivos, metodología, resultados obtenidos y conclusiones.

1. GCR (Grano de caucho reciclado)

Es el material obtenido a partir de la trituración del caucho obtenido de las llantas usadas desechas de vehículos de transporte se le conoce como grano de caucho reciclado GCR está compuesto por caucho vulcanizado proveniente de la trituración mecánica y separación de materiales de las llantas usadas, no es tóxico.

Tabla 5, 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. (Diaz Claros & Castro Celis, 2017)	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 costo de fabricar este tipo de mezclas, supera al de las mezclas convencionales y modificadas.
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.
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.

2. NANO – ARCILLA

La nano-arcilla es un material cohesivo que presenta medidas nano-métricas 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 (Vargas, 2011).

Tabla 6, ventajas y desventajas nano-arcilla

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se pudo determinar que la incorporación de un 3% de la nano-arcilla, presenta características óptimas, de viscosidad, rigidez. (Arevalo Prieto, 2020)	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 interacción química entre las nano-arcilla y el asfalto. (Vargas, 2011)	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.
La nano-arcilla en el asfalto, refleja un buen comportamiento a la resistencia de altas temperaturas.	

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.

Tabla 7, 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.	No se puede aplicar para climas fríos, por su bajo desempeño y por el mal comportamiento ante la norma.
Las mezclas asfálticas con polímeros disminuye 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. (Cabezas Lopez, 2020).	No es posible alcanzar la fluidez de un asfalto modificado con D-PEAD del 10% a una temperatura menor de 160°C. (Cabezas Lopez, 2020)

Tabla 7. Continuación

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.
--	---

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 8, 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. (Baron Dittercih & Duque Velasquez, 2020)	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. (Baron Dittercih & Duque Velasquez, 2020)

5. Modificación de un cemento asfáltico

El cemento asfáltico es un material bituminoso semi – sólido 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 9, ventajas y desventajas modificación cemento asfaltico

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La exposición del cemento asfaltico 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 asfaltico con los agregados genera dificultad, ya que el material pierde condiciones físicas como cohesión y aglutinante.
Al mezclar el cemento asfaltico a altas temperaturas, incrementa la consistencia del material, disminuyendo la penetración y el aumento del punto de ablandamiento y la gravedad especifica.	La manipulación del cemento asfaltico genera una disminución, en la flexibilidad de la mezcla por perdida de ductilidad, esto ocasiona a que la mezcla sea propensa a patologías por fatiga.
El envejecimiento sobre el cemento asfaltico, 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. (Guerrero Raca, 2019)

6. Escoria negra o residuos 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 10, 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. (Villamil Rojas, 2020)	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.

Tabla 10. Continuación

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	

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 hidroplaneo y evita la pulverización del asfalto o pavimento.

Tabla 11, 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). (Arias Sanches, 2018)
Remoción de partículas contaminantes, como aceite, metales, sedimentos.	Reduce la velocidad permitida, con una velocidad de tránsito 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 asfáltico, se utilizan cuando el tránsito es muy elevado.

Tabla 12, 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. (Cruz, 2020)
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.

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 (Huerta Agrícola, 2017).

Tabla 13, 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.	Representa un costo adicional, en los datos de laboratorio, e implementación de equipo especializado.

Tabla 13. Continuación

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.
---	--

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 14, 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.

1.3 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. (Arrmaz, 2021)

- 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.

9.5. Nuevas tecnologías de asfaltos modificados para la aplicación de pavimentos

9.5.1. 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. (Arrmaz, 2021)

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)

9.5.2. Aditivos para mezclas en frío

Road Science es un laboratorio estadounidense 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. (Arrmaz, 2021)

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

9.5.3. Tecnologías de pavimento aglutinado

Con la tecnología de pavimento aglutinado BondTekk de *Road Science de origen americano (EE.UU)*, 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. (Arrmaz, 2021)

9.5.4. Nano material 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. (Coy González, 2019)

9.5.5. *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. (Coy González, 2019)

9.5.6. *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. (Arrmaz, 2021)

9.5.7. *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.

9.6. Resultados e impactos esperados

A continuación, se presenta la tabla de resultados esperados e impactos con los cuales se pretende dar el cumplimiento a la totalidad de los objetivos propuestos en el proyecto de grado.

Tabla 15, Resultados esperados del trabajo de grado

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Estado del conocimiento relacionado con el avance investigativo a cerca de las mezclas asfálticas modificadas	Base de análisis documental	Analizar documentalmente la información acerca de la funcionalidad de los asfaltos y mezclas modificadas en la Universidad Santo Tomás y su proceso de modificación como propuesta de diseño y desarrollo en los pavimentos en Colombia
Tabla de recuperación documental del estudio y contextualización de la funcionalidad de las mezclas asfálticas modificadas	Guía de criterios de selección documental	Recopilar información sobre el funcionamiento del uso de las mezclas asfálticas en Colombia con base a los proyectos de investigación realizados por los ingenieros civiles de la universidad Santo Tomás.
Determinación del avance investigativo teórico-práctico sobre la eficiencia de las mezclas asfálticas modificadas	Análisis de incidencia investigativa sobre el uso de asfaltos modificados	Revisar las ventajas y desventajas de cada uno de los agentes modificadores utilizados en los trabajos de grado de los últimos 5 años en la universidad Santo Tomás.
Conclusión investigativa	Análisis del avance investigativo por parte de la universidad santo tomas	Mostrar 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.

- **Impacto**

Tabla 16. Ejemplo impactos

Aspecto	Impacto	Plazo
Académico	Creación de un estado del conocimiento sobre los avances tecnológicos de las mezclas asfálticas modificadas para contribuir a las futuras investigaciones	Corto
Científico	Mostrar los agentes modificadores utilizados en las investigaciones para futuros proyectos de nuevos materiales.	Largo
Económico	Los proyectos de investigación relacionados con mezclas asfálticas modificadas se desarrollan con el fin de minimizar costos de producción de la mezcla, como, costos de equipos y maquinaria, materiales pétreos, costo energético y de agua	Corto
Ambiental	Minimizar el impacto ambiental, utilizando materiales que no provengan de materia prima, por lo general provenientes de material reciclable	Mediano

10. 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.

11. Referencias

- Alarcon Figueroa, D. P., Chaparro Diaz, J. L., & Sanchez Suarez, M. A. (2020). *Importancia de la resistencia y vida útil de mezclas asfálticas modificadas con GCR en Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30460>
- Arevalo Prieto, L. A. (2020). *Caracterizacion fisica de un ligante asfaltico 60/70 modificado con nano arcilla*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31735>
- Arias Sanches, D. A. (2018). *Análisis comparativo de diversas especificaciones actuales sobre las mezclas asfálticas drenantes y su aplicación en las normativas colombianas*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15539>
- Armaz. (05 de octubre de 2021). Arkema. Obtenido de <https://armaz.com/es/productos/road-science/aditivos/>
- Baron Ditterich, F. E., & Duque Velasquez, K. S. (2021). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada por vía Seca con cenizas de biosólidos generados por la PTAR de Acacias, Meta*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/32183>
- Cabezas Lopez, P. Y. (2020). *Caracterización física de un ligante asfaltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (P-DEAD)*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31735>
- Camacho Vega, D. M., & Vargas Porras, L. H. (2017). *Prefactibilidad de uso de mezclas asfalticas fabricadas con goma de neumatico fuera de uso y agregados de la region*. [Trabajo de grado, Corporacion Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio: https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/5552/1/TEPRO_CamachoVegaDeicy_2017.pdf
- Coy González, J. (2019). *Tecnologías alternativas para pavimentos sostenibles en colombia*. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32070/CoyGonz%C3%A1lezJulietthJaczbldy.2019.pdf?sequenc>

- Cruz Osorio, J. C. (2020). *Análisis de los requerimientos para el diseño, la producción y puesta en obra de mezclas asfálticas tipo SMA en Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21446>
- Diaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2633>
- Dueñas Rodriguez, A. M., & Calume Figueroa, S. A. (2017). *Recopilación y análisis sobre el uso del grano de caucho modificado (gcm) para la utilización por vía seca en el diseño de carpetas asfálticas en Bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2649>
- Forero bernal, J. A., Garcia Medina, P., & Martinez Torres, M. J. (2015). *Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento asfáltico 80/100 modificado por via humeda con adición de corcho*. [Trabajo de grado, Universidad la Gran Colombia]. Repositorio: <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/4421>
- Guerrero Raga, E. A. (2019). *Influencia de la temperatura y el tiempo de mezclado en la modificación de un cemento asfáltico*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/17724>
- Herrera Moreno, Y. J. (2021). *Análisis comparativo de los parámetros para la estabilidad y el flujo de una mezcla asfáltica MDC-25 con una mezcla asfáltica MDC-25 modificada con grano de caucho reciclado*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33535>
- Higueroa Mojica, N. D., & Morales Pacheco, J. (2021). *Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente fabricadas con rap y escorias de horno de arco eléctrico*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33682>
- IDU. (s.f.). *Alcaldia mayor de Bogotá*.
- Landines Saurith , A., & Tovar Moreno, D. G. (2016). *Mezclas densas en caliente a partir de asfalto natural con adición de fibra de coco*. [Trabajo de grado, Universidad piloto de Colombia]. Repositorio: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1492>

- Lara Lopez, M. Y. (2016). *Cenizas de biosólido de PTAR como llenante mineral en la elaboración de mezclas asfálticas tipo MDC-19*. Obtenido de Universidad Santo Tomas: Cenizas de biosólido de PTAR como llenante mineral en la elaboración de mezclas asfálticas tipo MDC-19. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29857/2016m%C3%B3nicalara.pdf>
- Lemus Ballesteros, E. A., Mosquera Benavides, J. L., & Virviescas Barbosa, X. A. (2018). *estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos*. [Trabajo de grado, Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16108/1/ESTUDIO%20DE%20MEZCLAS%20ASF%C3%81LTICAS%20DENSAS%20CON%20ADICI%C3%93N%20DE%20MATERIALES%20ALTERNATIVOS.pdf>
- Lozano Castellanos, I. C., & Reyes Tafur, C. A. (2020). *Evaluación del comportamiento de un asfalto modificado con policloro de vinilo (PVC) y grano de caucho reciclado (GCR)*. [Trabajo de grado, Universidad de Ibagué]. Repositorio: <https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/1881/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>
- Mejia Umbarila, C. A., & Sierra Fernandez, C. A. (17 de mayo de 2017). *Estado del arte de mezclas asfálticas modificadas en los últimos 10 años, caso estudio universidades Bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad piloto de Colombia]. Repositorio: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1470>
- Mosos Arango, A. F., Mosos Guzman, C. & Gomez Martinez, J. H. (2018). *estudio de asfaltos y mezclas asfalticas modificadas con aceite residual de motor*. [Trabajo de grado, Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22533>
- Novoa Mendivelso, A. D. (2018). *Implementación de escoria negra de horno de arco eléctrico (ENHAE) como agregado grueso en la mezcla asfaltica*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33355>
- Ordaz Perez, P. J., & Ruiz Garcia, D. D. (2021). *Residuos minerales, industriales y de siderurgia, y su implementación en la elaboración de materiales de construcción en el departamento de Boyacá desde experiencias a nivel nacional e internacional*. [Trabajo de

- grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio:
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33677>
- Orjuela Gonzales , A. V., & Jimenez Moreno, J. L. (2020). *Comparación de las propiedades fisicomecánicas de una mezcla asfáltica convencional con una de grano de caucho reciclado*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio:
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30962>
- Ramirez Teatin , S. P., & Florez Azuero, C. C. (2016). *Evaluacion del efecto de envejecimiento del cemento asfaltico 80/100 modificado con lignina en el horno de pelicula delgada*. [Trabajo de grado, Universidad de Piloto de Colombia]. Repositorio:
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1493>
- Romero Romero, J. A., & Valencia Campo, W. (2019). *Evaluación del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica tibia modificada con escoria de alto horno estabilizada con un aditivo químico*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio:
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/23144>
- Rondon, A., Reyes, A., Figueroa, S., Rodriguez, E., Real, M., & Montealegre, A. (2007). *Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfalticas modificadas en colombia* .
https://www.researchgate.net/publication/277029875_Estado_del_conocimiento_del_estudio_sobre_mezclas_asfalticas_modificadas_en_Colombia
- Suarez Ramirez, J. P., & Varon Ureña, M. E. (2021). *Mezclas asfálticas no convencionales para procesos de pavimentacion en frio y caliente*. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio.
https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/34572/1/2021_Mezclas_asfalticas_convencionales.pdf
- Tamayo lopez, j. a., & bolivar bautista, l. v. (2020). *protocolo para la elaboracion de una mezcla asfáltica con incorporacion de escoria siderúrgica como llenante mineral*. [Trabajo de grado, Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio:
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25866>
- Vargas, J. (2011). *Universidad de los Andes*.
- Villamil Rojas, R. (2020). *Evaluación del comportamiento de mezclas elaboradas con RAP proveniente de desechos del instituto de desarrollo urbano y de la unidad de mantenimiento vial que están siendo aplicadas en vías rurales de Bogotá*. [Trabajo de

grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio:
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30058>

Villegas Camargo, J. D., & Wilches Gomez, L. M. (2019). *Utilización de mezcla asfáltica natural (MAN), procedente de la mina San Pedro, ubicada en el municipio de Armero Guayabal, departamento del Tolima, Colombia, con adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para reparcheo localizado. Reparcheo ecológico*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/17951>