



ACTUALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL
RECICLABLE

ANDREA RUEDA BARRAGÁN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2021



ACTUALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON MATERIAL
RECICLABLE

AUTOR:

ANDREA RUEDA BARRAGÁN

Proyecto de grado como requisito para optar al título de Ingeniero(a) Civil

DIRECTORA:

NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

VISTO BUENO DIRECTORA _____

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERIA
FACULTAD INGENIERIA CIVIL

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

“A Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino;
a mis padres por ser mi principal fuente de inspiración, por su ejemplo de
Perseverancia y constancia para soñar; a la Universidad
Pontificia Bolivariana por su sentido humano infundido
Entorno a la formación de grandes profesionales”

Andrea Rueda Barragán

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome la fortaleza y orientación para culminar de manera satisfactoria mis metas propuestas.

A mis padres Wilson Rueda y Ruth Barragán por ser mi principal fuente de inspiración para avanzar, por su ejemplo de perseverancia y constancia de soñar en que, si se podía, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentan.

A mi compañero de vida Miguel Piamonte quien ha estado para mí en los momentos duros brindándome su apoyo incondicional y ayudándome a desarrollarme de manera personal, espiritual y profesional con su amor.

Agradezco a mi directora de tesis Ing. Norma Cristina Solarte Vanegas quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en el transcurso de la investigación, y por la paciencia que me brindo en el transcurso de este proceso.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por su sentido humano infundido entorno a la formación de grandes profesionales y personas.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	12
2. Generalidades	13
2.1 Planteamiento del problema	13
3. Justificación.....	14
4. Objetivos	17
4.1 Objetivo general	17
4.2 Objetivos Específicos	17
5. Alcance.....	18
6. Antecedentes	19
7. Marco teórico	23
7.1 Pavimento.....	23
7.1.1 Capa de Rodadura	23
7.2 Tipos de pavimento.....	24
7.2.1 Pavimentos Flexibles:	24
7.2.2 Pavimentos Rígidos	24
7.2.3 Pavimentos Semirígidos	24
7.3 Asfalto.....	24
7.3.1 Tipos de asfaltos	25
7.4 Mezclas asfálticas.....	29
7.4.1 Clasificación de las mezclas asfálticas:	29
7.5 Mezcla asfáltica modificada	31
7.5.1 Propiedades necesarias para el diseño de mezclas.....	32
7.5.2 Propiedades reologicas	33
7.5.3 Características de mezclas asfálticas modificadas	33
7.6 Materiales utilizados como agentes modificadores.....	34
7.6.1 Materiales naturales	34
7.7.1 Materiales sintéticos	36
7.8 Residuos de demolición y construcción.....	40

7.8.1 Residuos cerámicos	41
7.8.2 Cerámica	41
8. Metodología de trabajo	43
8.1 Enfoque y Tipo de la Investigación.	43
9. Análisis de resultados	59
10. Artículos relevantes sobre mezclas asfálticas modificadas usando la cerámica como el avance a nivel internacional.	69
11. Recomendaciones para acciones de mejoramiento	71
12. Conclusiones	73
13. Bibliografía	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del cemento asfáltico.	26
Tabla 2. Clasificación empleado por fracciones de agregado pétreo.	30
Tabla 3. Clasificación en la mezcla asfáltica por la proporción de vacíos.	31
Tabla 4 Clasificación por la granulometría.	31
Tabla 5 Tipos de Baldosa Cerámica.	42
Tabla 6. Aplicabilidad de los agregados alternativos en el asfalto Pavimentos y sus requisitos de rendimiento.	44
Tabla 7. Utilización agregados cerámicos reciclados obtenidos de la industria del azulejo en el diseño de un curso de uso abierto y calificado tanto en laboratorio como in situ.	45
Tabla 8. Efectos sobre la durabilidad del concreto del uso de agregados cerámicos reciclados	46
Tabla 9. Desarrollo de nuevos materiales para áridos secundarios y reciclados en infraestructura vial.	47
Tabla 10 Hormigones ecoeficientes: impacto del uso de polvo de cerámica blanca en las propiedades mecánicas del hormigón.	48
Tabla 11. Rendimiento y evaluación térmica de la incorporación de agregados de cerámica de desecho en el uso de capas de pavimento asfalto.	49
Tabla 12. Características de la entrada de cloruro en morteros que contienen agregado de desechos cerámicos.	50
Tabla 13 . Experimento de laboratorio sobre módulo resiliente de mezclas de asfalto modificado con BRA.	51
Tabla 14 . Caracterización del tereftalato de polietileno reciclado como propiedades de reemplazo de agregado fino parcial y comportamiento de mezclas de asfalto para pavimentos de carretera.	52
Tabla 15. Estudio de las características operativas del asfalto de carretera modificado con residuos de polietileno	53

Tabla 16 . Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con Asfáltita	54
Tabla 17 . Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas	55
Tabla 18 . Mejora del rendimiento de la mezcla de asfalto al reemplazar parcialmente el betún con aceite de motor residual y modificadores de elastómero	56
Tabla 19. Mejora de la estabilidad de almacenamiento del asfalto modificado con goma de miga a través del control de su estructura de red interna	57
Tabla 20. Alternativas de rehabilitación usando nuevas mezclas de caucho de asfalto con materiales brasileños.....	58
Tabla 21 Criterios por el método Marshall para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente.....	60
Tabla 22 Aspectos ambientales de mezclas asfálticas convencionales	63
Tabla 23 Aspectos ambientales de mezclas asfálticas modificadas.....	64
Tabla 24 Aspectos económicos de mezclas asfálticas convencionales	65
Tabla 25 Aspectos económicos de mezclas asfálticas modificadas.....	66
Tabla 26 Impacto social y afectaciones a la salud de mezclas asfálticas convencionales	67
Tabla 27 Impacto social y afectaciones a la salud de mezclas asfálticas modificadas	68
Tabla 28 Artículo destacado realizado en Europa usando agregado cerámico en laboratorio como in situ.....	69

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Actualidad de las mezclas asfálticas modificadas con material reciclable

AUTOR(ES): Andrea Rueda Barragán

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Norma Cristina Solarte Vanegas

RESUMEN

En la actualidad la reutilización de materiales toman fuerza dentro de las industrias a nivel mundial entre esas la de construcciones, en la cual se busca reforzar el aprovechamiento de recursos, se propone elaborar un estudio tipo investigativo basándonos en la experimentación obtenida de bases de datos, ensayos de laboratorios y avances que se desarrollaron, implementando comparación de metodologías de diseño entre mezclas asfálticas convencionales y modificadas, su comportamiento mecánico y dinámico entre ellas y factores de impacto, seleccionando artículos relevantes alrededor del mundo que han marcado con sus investigaciones y que aporte significativamente al documento bibliográfico, a la vez de recomendar acciones de mejora y recopilación de avances para futuras investigaciones.

PALABRAS CLAVE:

mezcla asfáltica modificada, comportamiento mecánico, factores de impacto, acciones de mejora

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: News of asphalt mixtures modified with recyclable material

AUTHOR(S): Andrea Rueda Barragán

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Norma Cristina Solarte Vanegas

ABSTRACT

At present the reuse of materials is gaining strength within industries worldwide, including construction, in which it seeks to strengthen the use of resources, it is proposed to develop a type investigative study based on the experimentation obtained from databases, laboratory tests and advances that were developed, implementing comparison of design methodologies between conventional and modified asphalt mixtures, their mechanical and dynamic behavior between them and impact factors, selecting relevant articles around the world that have marked with their research and that contribute significantly to the bibliographic document, at the same time recommending improvement actions and compilation of advances for future research.

KEYWORDS:

modified asphalt mix,mechanical behavior, impact factors,improvement actions

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. Introducción

La infraestructura vial del pavimento flexible en Colombia posee un uso de extrema importancia en la malla vial del país, ya que las vías y conexiones aumentan el desarrollo en aspectos económico, social, cultural y de la sociedad en la actualidad, en esta se incluye la vía NT2 (generalmente las vías en Colombia) por las cuales se maneja tránsito pesado y desgaste de malla vial. Lo que actualmente se busca es la manera de reemplazar es infraestructura, evaluando diferentes mecanismos en su diseño.

Actualmente la reutilización de materiales que fueron clasificados como desecho toman un papel muy relevante dentro de las industrias a nivel mundial, y en estas la de la construcción en la cual hace un tiempo se buscan esfuerzos para el aprovechamiento máximo de recursos que se tengan.

En lo que concierne a Colombia, en las últimas décadas se han realizado esfuerzos significativos en esta materia, especialmente en el área de pavimentos, para los que se están realizando tramos en carpeta asfálticos modificados con grano de caucho, abriendo infinitas opciones de mejoras que puede llegar el modificar materiales que componen las mezclas asfálticas. Esto podría tener un mayor beneficio al juntar las características que definan el comportamiento en las mezclas, que implica el ahorro de materiales granulares o asfalto que proceden de fuentes naturales, lo cual se convierte en una mejoría a nivel ambiental y económico.

A su vez en Europa se encontró que se ha generado un gran aporte frente a los avances de incluir nuevos materiales secundarios y reciclados con el fin de darle tratamientos a los desechos en diversas industrias, por ello las Normas técnicas europeas excluyeron para el asfalto las barreras que impedían el uso de agregados alternativos en mezclas de asfalto, siempre que estos

cumplan con las categorías de rendimiento especificadas, por lo cual es necesario que las especificaciones de asfalto incluyan un requisito simple que de una proporción del agregado sea de una o más alternativas, siendo evidente que hay un deseo en el mercado actual de utilizar efectivamente esta abundante fuente de reciclado y agregados secundarios, por lo cual reduce la necesidad de agregados primarios en la construcción de carreteras, potencialmente reduciendo las distancias de transporte y logrando beneficios reales en sostenibilidad y costo.

Así mismo en Asia se genera un estudio más profundo de todos aquellos modificadores que de cierta manera generan todos aquellos cambios y ajuste a todo el sistema como lo son (CWAs, Bra, y Tereftalato de polietileno) generando aportes favorables como un mejor rendimiento en comparación con las mezclas de asfalto no modificado y así optimando las propiedades ingenieriles de la mezcla de asfalto para pavimento de carreteras.

Cabe destacar que esta investigación global se hace con el fin de saber la actualidad de conocimiento en esta rama, como han sido sus avances frente a los estudios, Comparar metodologías de diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas para finalmente resaltar ventajas y desventajas de procesos que se están llevando a cabo, que acciones se pueden tener en cuenta para incluirlo como parte de nuestras nuevas tecnologías en la pavimentación y que alternativas de uso son posibles recomendar.

2. Generalidades

2.1 Planteamiento del problema

La experimentación de mezclas asfálticas modificadas inicia siendo una técnica de estudio que nace de las necesidades de nuevos materiales que favorezcan a mejorar las mezclas asfálticas

ante fenómenos de desintegración, cuando esta es sometida a condiciones de carga y condiciones extremas ambientales, mejorando así los comportamientos que actualmente se experimentan con las mezclas tradicionales (Uce, 2013).

Como objetivo principal el ingeniero en diseño de pavimentos obtiene mejora al comportamiento estructural de los pavimentos ofreciendo seguridad y comodidad al usuario, con el fin de modificar propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica añadiendo material reciclado modificado; Con el pasar del tiempo, el crecimiento poblacional que se vive hoy en día todos los países del mundo no es un secreto, esto involucra ciudades más grandes, más pobladas, mayores construcciones de interés social que cumplan con las expectativas de brindar comodidad a las personas y ahí es donde el desarrollo vial juega un papel importante y encontrar alternativas para su estructura.

Para ello la intención de esta investigación busca recopilar el mejoramiento de las mezclas asfálticas modificadas actuales en sus diferentes adiciones recomendando acciones que optimicen la calidad de la capa de rodadura y asfaltos de excelente calidad; a fin de reducir la utilización de recursos naturales en las mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de las vías, establecidas para solucionar las necesidades de la comunidad en general.

3. Justificación

Es de gran importancia realizar un estudio investigativo que permita aportar nuevas alternativas en el mejoramiento de la carpeta asfáltica y del diseño de pavimento en general, en busca de optimizar el uso y la durabilidad de los pavimentos alcanzando mezclas resistentes a las deformaciones, fisuramientos y condiciones ambientales adversas, por lo que se requiere transformar la mezcla asfáltica.

La innovación en materiales para asfaltos a partir del empleo de materiales modificados ha sido un proceso investigativo alrededor del mundo, siendo actualmente en España por la universidad politécnica de valencia donde se adelanta un estudio basado en residuos cerámicos para la modificación de mezclas cambiando una adición de 25% de agregado natural por residuo de rotura de cerámica (Unipiloto, 2015), Esta investigación consistió en utilizar residuos cerámicos y observar de acuerdo a los resultados si este procedimiento indicaba una mejor conducta en las fallas que se forman en los pavimentos, puesto que sus especificaciones normativas y su correcto uso representaran grandes ventajas comparados con asfaltos convencionales, puesto que su utilidad en cualquiera de las mezclas alteradas procura tener una resistencia al envejecimiento, a la humedad y en general a las condiciones climáticas (H.a. Rondon, 2008) .

En Colombia el (INVIAS), viene promoviendo el uso de nuevas que permitan la fabricación de mezclas asfálticas con mejores características a las existentes con la cual busca nuevas técnicas que mejoren las propiedades de los pavimentos como resultado de la presencia de fatiga y deformaciones permanentes, buscando desarrollar un asfalto modificado, con residuo rotura de baldosa cerámica por vía húmeda en porcentajes del 5 al 25 %, con el fin de involucrar tres componentes importantes: innovación, desarrollo de un asfalto ideal y el medio ambiente (Unipiloto, 2015).

Así mismo, para contribuir en un desarrollo de análisis técnico en asfaltos modificados por medio de una investigación profunda, es necesario recopilar información proveniente de diversos lugares, que permite a los próximos proyectos de grado experimentar, e implementar mejoras disminuyendo los riesgos y/o consecuencias que conllevan a las carreteras en un mal estado y en un deterioro de la carpeta asfáltica ya que está probado en base a estudios realizados

que los asfaltos de tipo convencional, tienen propiedades mecánicas satisfactorias en todas sus aplicaciones y bajo diferentes condiciones Ambientales, sin embargo el crecimiento en los volúmenes de tránsito y a su vez mayores cargas buscan necesariamente mejorar estas propiedades porque ante el crecimiento de estos factores resultan insuficientes.

En la actualidad existe poco uso para el material de desecho como un modificante de asfalto, su experiencia más conocida es el uso de polímeros de caucho de llantas, pero en general lo que se busca es una mejora al desempeño permanente en cuanto a la fatiga (Gallego-Medina, 2003), y daños térmicos entre los otros ya nombrados, más sin embargo no se considera un tipo de modificante de uso frecuente por la limitada disponibilidad de plantas de reciclaje que no permiten el procesamiento óptimo para incorporar materiales reciclables al asfalto, lo cual preocupa un buen manejo de desechos que minimizaran el desperdicio y generará una tendencia mayor a reciclar y reprocesar materiales nuevos que de cierta manera beneficiarían a todo usuario de vías locales o secundarias en la cual se implemente la mezcla asfáltica mejorada a fin de mejorar la calidad de vida de las poblaciones, promoviendo el crecimiento económico e industrial de zonas con difícil acceso.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Determinar de las bases de datos los avances sobre mezclas asfálticas modificadas de un material reciclable.

4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Comparar metodologías de diseño de mezclas asfálticas convencionales y modificadas para resaltar las ventajas y desventajas.
- ❖ Seleccionar los artículos más relevantes relacionados con los avances internacionales de las mezclas asfálticas modificadas usando un solo material de reciclado industrial.
- ❖ Realizar un documento que sirva de referencia bibliográfica para recomendar acciones de mejoramiento.

5. Alcance

El fin de este proyecto es dar a conocer la actualidad de mezclas modificadas, recopilando información bibliográfica existente en las diferentes fuentes conocidas como en bibliotecas y bases de datos científicas, así como también brigadas de ensayos que se han realizado en el laboratorio de ingeniería civil con diferentes fuentes conocidas; se sintetizara dicha información en un documento investigativo, el cual fundamentara la práctica frente al análisis en las diferentes aplicaciones de un nuevo materiales modificado.

El informe también busca hacer un paralelo de las ventajas y desventajas que se originan alrededor de diversos tipos de materiales como modificantes como lo son:

- ❖ Materiales naturales
- ❖ Materiales sintéticos
- ❖ Materiales con adición de material reciclado

Cada análisis de los materiales utilizados será profundizada en relación a, en qué consisten, aplicaciones, ventajas, desventajas y ejemplos de proyectos con aplicaciones de estas técnicas, donde la información que se recolecta son de fuentes bibliográficas confiables alrededor del mundo, tales como libros, artículos, informes u otros, unificando la experimentación consultada; Este proyecto de grado es de tipo investigativo con recopilación de información desarrollada en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, como tesis de investigación para optar por el título del programa académico de pregrado de Ingeniería Civil, el cual se va a estructurar con base a las normas APA.

6. Antecedentes

En los inicios la piedra fue de los materiales que el hombre implemento para la construcción de revestimientos, muros y también como múltiples aplicaciones por sus propiedades que hacían de esta una materia prima para otras fabricaciones en la construcción, siendo los griegos los primeros en utilizar las cales para revestimientos de muros, y posteriormente los romanos los que perfeccionaron el proceso de fabricación, añadiéndole arena para la fabricación de morteros.

Posteriormente en Europa durante la edad media surge la construcción de pavimentos siendo Inglaterra quien inicia implementando leyes de pavimentación remitiéndose al cuidado y mejora de la red vial, formando la construcción de vías de gran tamaño a base de piedra, luego surge la era industrial y se realiza una mejora implementando (adoquines) y a su vez la aparición del automóvil fomenta la necesidad de vías más extensas y competentes para el traslado de vehículos de peso (Solminihac H. , 1998).

Alrededor de 1940 se incorpora el concepto del método Hveem de mezclas de pavimentación desarrollada por Francis N. Hveem, siendo anteriormente ingeniero de la división de carreteras de california, este método comprende la determinación de un contenido aproximado de asfalto por medio del ensayo equivalente de centrifugo de kerosense y luego someten a probetas con contenido de asfalto en diversas proporciones a un ensayo de estabilidad y a una probeta expuesta al agua le realizan ensayo de expansión, buscando establecer el contenido óptimo de asfalto para ajustar específicamente agregados, proponiendo información de sus propiedades finales; este procedimiento se realiza en mezclas en caliente que emplean cemento asfaltico clasificado por viscosidad o penetración y que su tamaño máximo de agregados no supera 25mm.

Posteriormente el cuerpo de ingenieros del departamento de carreteras del estado de Misisipí a mediados de 1943 busca comparar y evaluar varios métodos para el diseño de mezclas asfálticas y así desarrollar un método simple, el diseño Marshall se desarrolló por Bruce Marshall con el fin de darle forma al desarrollo de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, luego se extendió más su investigación con pruebas de tránsito y agregaron detalles que posteriormente entran a formar criterios en el diseño de mezclas; su intención es establecer contenido óptimo de asfalto para una mezcla de agregados, este método facilita información de sus propiedades

de mezcla en caliente estableciendo densidades y vacíos óptimos que se deben efectuar durante el proceso constructivo del pavimento.

En 1987 se dio inicio a el desarrollo de un nuevo sistema que especifica los materiales asfálticos el SHRP (Strategic Highway Research Program) que se conoció como SUPERPAVE, este software es un programa que busca ayudar a los ingenieros a la selección de materiales y diseño de la mezcla asfáltica, este programa de computación da origen a un nivel más moderno de cómo especificar los componentes de los materiales, diseño de mezclas y su análisis pronosticando el cambio de los pavimentos, incluyendo equipos ,criterios y métodos de ensayos.

Este sistema da un amplio diseño de mezclas que, basándose en requerimientos específicos definidos como el tránsito, el clima y la elección estructural del pavimento según donde este localizado, se hace más fácil combinar y seleccionar el asfalto-agregado y en otros casos algún aditivo que ayude alcanzar el nivel necesario para su comportamiento óptimo en el pavimento; este sistema se puede aplicar tanto en mezclas en calientes vírgenes como en recicladas.

Los pavimentos se forman por un conjunto de capas granulares y carpeta de rodadura que reposan sobre la subrasante (R.Tabares, 2005), proponiendo soluciones para la construcción de carreteras en busca de mejorar la necesidad y dar condiciones favorables a lo largo de su vida útil, La necesidad y demanda del hombre busca ir corrigiendo el mejoramiento de vías, que pueden ser con nuevos procedimientos constructivos que se adecuen a las insuficiencias de cada región donde se ejecuten proyectos viales, o en nuevos aditivos que mejoren los materiales o mezclas que constituyen la estructura vial; esa necesidad exige pavimentos con capas formadas por materiales que se adhieran de acuerdo a los medios del suelo subrasante, a las exigencias del clima y a los esfuerzos dados por el peso de los vehículos siendo la carpeta de rodadura quien se afecta directamente a todos los cambios y cargas transmitidas.

Durante casi medio siglo, el uso de una (s)capa (s) de pavimento asfáltico de mezcla en caliente en estructuras ha estado creciendo continuamente convirtiéndose en una práctica común en las vías según condiciones y áreas específicas en varios países alrededor del mundo. Esta industria ha aumentado, y en muchas situaciones reemplaza materiales de soporte granular tradicionales, brindando entre sus principales beneficios proporcionar soporte adicional para mejorar las capacidades de distribución de carga de los componentes del lecho (R.Tabares, 2005), disminuir

las presiones de subgrado inducidas por la carga, mejorar y controlar el drenaje, asegurar el mantenimiento de las propiedades geométricas específicas de las líneas de carga de grandes masas , y disminuir los gastos subsiguientes por costos de mantenimiento y reemplazo de componentes .

Conservar en estado óptimo la infraestructura vial de un país evita sobrecostos en su PIB (urbana, 2010) ya que la operación vehicular se ve afectada de manera directa al no ofrecer una red de bienestar y comodidad a los usuarios de esta, y de allí se origina la gestión de los pavimentos un concepto que surge finalizando los años setenta y que ha ido evolucionando en los últimos años promoviendo de diversas maneras la buen administración en esta área; su objetivo está en el desarrollo de criterios dando alternativas reales de inversión y favoreciendo la efectividad en la toma de decisiones (Bull, 2003).

Puesto que el deterioro en la carpeta asfáltica en pavimentos perturba de manera directa a la seguridad del tráfico vehicular al hacerla menos confortable para los usuarios que aumenta los costos de operación una gestión de pavimentos busca prevalecer de manera correcta utilizando metodologías en la seguridad vial basado en el riesgo según el estado de carreteras; “*Colombia ha realizado esfuerzos significativos en materia de gestión vial. Entre los años 2005 y 2009, el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) desarrollaron el programa de corredores de sostenimiento integral, involucrando 11 corredores viales importantes que cubrían una longitud de 1,987 km. Esta iniciativa, tuvo un costo aproximado de 1.2 billones de pesos colombianos, ya que requería del diseño de un plan de acción que involucra el inventariado de los daños del pavimento y la medición de parámetros funcionales como el International Roughness Index (IRI), cada 100 m, para generar matrices de intervención que permitían mejorar el índice de servicio del corredor*” (Solminihac, 2001).

Aquí es donde se inicia la gestión en la ingeniería de pavimentos al iniciar un estudio mediante pronóstico contra diagnóstico basado en el pasado para iniciar a mitigar el futuro y en donde esto se vuelve más un arte que una ciencia a causa del pasado y se empieza a tomar fuerza porque se están introduciendo nuevos materiales, pero también el hecho de que las condiciones (estrés, humedad, estado) aplicado en aquellos materiales en su lugar están siendo alterados.

Evidentemente se empieza a cuestionar las propiedades que se deben añadir para los materiales existentes, cuestiones que requieren una cierta cantidad de juicio de ingeniería; pero probablemente la mayor dificultad no radica en la capacidad de predecir el rendimiento si no la decisión que requiere un equilibrio entre el desempeño que se efectúa y el rendimiento que se cumple (Invias, 2013) y de tomar la decisión correcta, La construcción de pavimentos es un motor crítico del desarrollo de la infraestructura apoyando industrias y un punto central de la economía por lo cual la sostenibilidad en esta práctica es un gran paso a la implementación del desarrollo que satisface necesidades del presente y futuro que se han visto reflejadas durante toda la práctica de los pavimentos, por ejemplo la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) define la sostenibilidad como “*un conjunto de condiciones ambientales, económicas y sociales en las que todos La sociedad tiene la capacidad y la oportunidad de mantener y mejorar su calidad de vida por tiempo indefinido sin degradar la cantidad, calidad o disponibilidad de recursos naturales, económicos y sociales* ” (Rondon & Lizcano, 2014). La clave de la sostenibilidad se basa en lo social, ambiental y económica, donde se logra la sostenibilidad; dando una estabilidad al problema que surge de las necesidades humanas con los recursos correctos siendo más fácil de considerar, ya que son finitas y medibles, las necesidades humanas varían en diferentes ubicaciones geográficas y en periodos de tiempo y así definir según su carencia el contexto de lo que ellos entienden por "sostenible", y nace lo que hoy se llama reutilización en los pavimentos basado en los materiales de pavimento que cumplió su propósito inicial pero sirve como refuerzo en una misma carretera o una nueva.

Su objetivo principal es intervenir las propiedades mecánicas del asfalto, reducir la susceptibilidad térmica y buscar puntos de equilibrio en las propiedades cuando se eleva su temperatura de servicio (Rodriguez, 2018); esto implica cambiar propiedades de mezcla inicial, disminuyendo la deformación plástica a altas temperaturas, la rigidez a bajas temperaturas y brinda un excelente conducta ante la acción de las cargas pesadas del tránsito, el asfalto real presenta un cambio incesante de sus características en el rango de temperaturas de operación y el asfalto ideal nos muestra características más contantes un amplio rango de temperaturas en servicio, es por esto que la adición de polímeros adecuados modifica la susceptibilidad térmica del pavimento obteniendo mejoría en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de deseadas de servicio.

Lo que se busca al modificar el asfalto es:

- ❖ Incrementar la rigidez a altas temperaturas mejorando la resistencia.
- ❖ Reducir la rigidez a temperaturas bajas, previniendo fisuras.
- ❖ Mejorar la adhesión en los agregados.
- ❖ Minimizar el endurecimiento en servicio brindando más vida útil a la mezcla.

Según Thompson: *“El polímero tiene un tamaño de partículas de dispersión óptica para optimizar las propiedades reológicas”* esto nos indica que cualquier acción que se realice para variar composiciones iniciales inevitablemente modifica su estructura y sus propiedades, ya sea de manera compatible o a su vez solo aumenta una de sus propiedades de forma débil respecto a la mezcla original. (Fonseca A. , 1997)

7. Marco teórico

La investigación inicia planteando una orientación teórica en base a la recopilación que se tomó de bases de datos, consultas bibliográficas, aportes de revistas entre otros sobre conceptos importantes que serán de ayuda para el desarrollo del proyecto, mostrando conceptos básicos que se deben conocer.

7.1 Pavimento

Conjunto de capas con material escogido que de forma directa recibe las cargas de tránsito y las traslada a estratos inferiores de forma disolutiva facilitando una superficie de rodamiento para un buen funcionamiento con capas asfálticas gruesas, pavimentos hidráulicos, pavimentos mixtos, rígidos, semirrígidos, y articulados. (Rondon Quintana, 2015)

7.1.1 Capa de Rodadura

Su principal objetivo es resguardar la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para imposibilitar filtraciones de agua de lluvia que ayudan a saturar las capas inferiores. (Fonseca A. M., 2002)

Esta capa transfiere las cargas inducidas por el tráfico hacia la base en la que se apoya, además que provee una superficie adecuada para el rodamiento del tráfico.

7.2 Tipos de pavimento

7.2.1 Pavimentos Flexibles: Radica en una superficie de desgaste construida sobre las capas de base y subbase, apoyada a la subrasante compactada de manera que transmiten las cargas al terreno de soporte, las cuales van disminuyendo gradualmente con la profundidad. (Fonseca A. M., 2002)

7.2.2 Pavimentos Rígidos: Consiste en una losa de concreto hidráulico de rigidez, que transmite los esfuerzos al terreno de soporte repartiéndolos en un área muy amplia.

7.2.3 Pavimentos Semirígidos: Formada de suelo-cemento de concreto hidráulico rígido, por su composición es de una menor rigidez y por lo tanto admite deformaciones mayores; originando la transmisión de esfuerzos al suelo de soporte por disipación y/o por repartición. (Fonseca A. M., 2002)

7.2.4 Agregados pétreos: Surgen de la unión de arenas, finos y gravas en la producción de mezcla en terraplenes y demás construcciones, diferenciando según su diámetro las partículas entre 2mm y 64mm las gravas, entre 0.075 mm y 2mm las arenas y las que se encuentren con un diámetro inferior a 0.075 serán arcilla. (Rondon Quintana, 2015)

7.3 Asfalto

Es un material bituminoso oscuro, que se compone por asfáltenos, y tiene propiedades cementantes a temperatura ambiente estabilizadas y propiedades físico- químicas que son impermeables, adherente, cohesivo y a su vez soportar grandes esfuerzos instantáneos y recuperarse elásticamente, lo cual lo hace ideal para la producción de mezclas asfálticas (Reyes lizcano, 2003).

Actualmente el aumento en la construcción de pavimentos se ha elevado debido a la gran oferta del país, facilitando las técnicas en la construcción, creando especificaciones que dirijan lineamientos para cumplir los objetivos al cual sean diseñados.

En Colombia hoy en día ECOPETROL es la única empresa que provee el bitumen, material primo para la elaboración del asfalto, con posibilidad de expandirse a Europa con una formula premium incorporando nano partículas que radica en encapsular la roca del agregado como un patente impermeabilizante. (Chacon Gonzalez, 2014)

7.3.1 Tipos de asfaltos

❖ Asfaltos naturales

Son sustancias viscosas, de color oscuro, formadas por hidrocarburos relacionados con proporciones variables de material minerales inertes.

❖ Cemento asfáltico

Son asfaltos finos con una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia adecuada en trabajos de pavimentación. para usos de impermeabilización y usos industriales. Se origina de depósitos naturales, mezclado con un material mineral, agua y otras impurezas, tiene propiedades aglomerantes y es básicamente soluble en tricloroetileno. (Lizcano, 2003)

❖ Emulsión asfáltica

Es la suspensión de pequeños glóbulos de asfalto en agua, la cual es presenciada por un agente emulsificante, este agente actúa al impartir una carga eléctrica a la superficie de los glóbulos de asfalto, de modo que estos no se aglomeren. (Utrilla, 2007)

❖ Asfaltos líquidos

Es un cemento asfáltico, líquido a temperatura ambiente, que se obtiene del proceso de refinación de petróleo o calentando un cemento asfáltico, por medio de la adición de un volátil del mismo petróleo, que les imparten a los asfaltos diluidos distintos tiempos de corte o curado. (Lizcano, 2003)

❖ Asfaltos solidos

Son asfaltos cuya función inicial es en construcciones de pavimentos con cementos asfálticos por características como aglomerantes y a su vez durabilidad, resistencia y flexibilidad.

Tabla 1. Especificaciones del cemento asfáltico.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN DE			
			60-70		80-100	
			MIN	MAX	MIN	MAX
Penetración (25°C, 100g, 5 s)	0,1mm	E-706	60	70	80	100
Índice de penetración	-	E-724	-1	1	-1	1
Viscosidad absoluta (60°C)	P	E-716 ó E-717	1500	-	1000	-
Ductilidad (25°C, 5 cm/min)	Cm	E-702	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	E-704	-	0,2	-	0,2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada con movimiento (163°C, 75min)	%	E-720	-	1	-	1,0
Penetración de residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original.	%	E-706	52	-	48	-
Aumento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (E-720)	°C	E-712	-	5	-	5

La aplicación de mezclas asfálticas genera que en su proceso y vida útil se genere un cambio constante debido a los diversos factores como el aire, la luz y la humedad esto da como consecuencia la verificación del decrecimiento de plasticidad del ligante que ocasiona endurecimiento progresivo y se conoce como envejecimiento del ligante.

Las técnicas para mejoramiento de pavimentos consisten en modificar las características de la estructura del suelo por una acción física incluyendo en el suelo una la mezcla de asfalto con un material más resistente, con el fin de:

- ❖ Conseguir mezclas resistentes a las deformaciones.
- ❖ Renovar técnicas que optimen las propiedades de los pavimentos como resultado de la presencia de fatiga, fisuramientos y condiciones ambientales adversas.
- ❖ Optimizar la adherencia de los agregados, haciendo crecer resistencia a la deformación
- ❖ Permanente de los asfaltos.

El asfalto se emplea para pavimentación y es uno de los materiales de mayor importancia en la construcción civil usado para revestir e impermeabilizar carreteras alrededor del mundo, su capacidad permite unir una buena cohesión entre los agregados impidiendo la penetración del agua resistiendo la presión y disgregación por cargas vehiculares, entre sus beneficios esta: la adherencia, la impermeabilización y la cohesión, siendo resistente a altos esfuerzos. (R.Tabares, 2005)

Los asfaltos modificados alargan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un aumento en el costo de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica, utilizándose como capa de rodadura en pavimentos de alto desempeño teniendo la función de ofrecer alta resistencia al tráfico y comodidad a los usuarios.

Está comprobado que los asfaltos convencionales tienen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en diversas aplicaciones y bajo diferentes condiciones climáticas y de tráfico. Sin embargo, el incremento de volumen de tránsito y el tamaño de las cargas, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten ineficientes.

Respecto a las propiedades mecánicas se dice que cuando el asfalto se calienta a temperaturas altas éste comienza a fluidificarse, siendo el asfalto un sólido visco-elástico a temperaturas bajas, por esto sus propiedades mecánicas son más complejas a temperaturas más bajas, el pavimento es un sólido visco-elástico, sus propiedades mecánicas en esta etapa tienen un grado mayor de complejidad por su módulo de visco-elasticidad.

- ❖ Viscosidad: se establece como la tenacidad que se resiste a la fluencia de un líquido, está relacionada a la temperatura y su índice de viscosidad indica cuando hay cambios con temperaturas altas o bajas.
- ❖ La Ductilidad: es la propiedad de algunos materiales que, mediante una acción de fuerza, pueden deformarse sin llegar a romperse.
- ❖ La Fragilidad: es la propiedad de los materiales al romperse frente a esfuerzos específicos. (Quiroz, 2012)
- ❖ La Pérdida por calentamiento: Esta propiedad nos permite conocer si al someterse a altas temperaturas los materiales, se evaporan los compuestos más volátiles y a su vez si se evidencia una alteración en las características iniciales.
- ❖ La Resistividad / Conductividad Eléctrica: El asfalto tiene una resistencia mayor y es en resultado un buen material aislante. La resistencia de los grados comerciales disminuye con el incremento de la temperatura.
- ❖ Las Propiedades Térmicas: El asfalto es de manera moderada un buen material aislante térmico.

7.4 Mezclas asfálticas

Es de la unión de un ligante hidrocarbonato y agregado mineral pétreo, estableciendo propiedades físicas de la mezcla a la vez que su rendimiento. (Instituto Nacional De Vias)

Su uso principal es en construcciones firmes sustituyendo un rodamiento seguro, cómodo y económico para usuarios en las vías proporcionando el tráfico de vehículos.

7.4.1 Clasificación de las mezclas asfálticas:

❖ **Por fracción de agregados pétreos:**

- ❖ Mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante.

- ❖ Polvo mineral + ligante = Masilla asfáltica

- ❖ Agregado fino + masilla = Mortero asfáltico

- ❖ Agregado grueso + mortero = Concreto asfáltico.

- ❖ Agregado grueso + ligante asfáltico= Macadam asfáltico.

❖ **Por la Temperatura de puesta en obra**

- ❖ Mezclas asfálticas en Caliente: Derivado del cemento asfáltico con agregados común y modificado, para el cual se maneja en altas temperaturas al ambiente para su compactación y extendido. (Rodriguez, 2018)
- ❖ Mezclas asfálticas en Frío: La mezcla asfáltica en frío es una mezcla de agregado mineral, con asfalto diluido en el cual todo su procedimiento se realiza a temperatura ambiente.

❖ **Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.**

- ❖ Mezclas Gruesas: En el cual el tamaño máximo del agregado es > 10 mm.

- ❖ Mezclas Finas: Son micro aglomerados ó morteros asfálticos; formadas básicamente por un agregado fino incluyendo polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo forma el espesor mínimo con el que se expande la mezcla.

- ❖ **Por la Estructura del agregado pétreo**
- ❖ Mezclas con Esqueleto mineral: Tienen un cuerpo mineral resistente, debido al componente y al rozamiento interno de los agregados.
- ❖ Mezclas sin Esqueleto mineral: No tienen un esqueleto mineral resistente, ya que la resistencia se debe exclusivamente a la cohesión de la masilla.

- ❖ **Por la Granulometría**
- ❖ Mezclas Continuas: Una cierta cantidad bien distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- ❖ Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en su uso granulométrico. (Rodriguez, 2018)

Tabla 2. Clasificación empleado por fracciones de agregado pétreo.

Tipo de Mezcla	Componentes
Masilla Asfáltica	Polvo mineral + ligante
Mortero Asfáltico	Agregado Fino + masilla
Concreto Asfáltico	Agregado grueso + mortero
Macadam Asfáltica	Agregado grueso + ligante asfaltico

Fuente: (Reyez Lizcano , 2003)

Tabla 3. Clasificación en la mezcla asfáltica por la proporción de vacíos.

Tipo de Mezcla	% de vacíos
Mezclas Densas	Vacíos no mayores al 6%
Mezclas Semi- densas	Vacíos entre 6% y el 10%
Mezclas Abiertas	Vacíos por encima al 12%
Mezclas Drenantes	Vacíos supera al 20%

Fuente: (Reyez Lizcano , 2003)

Tabla 4 Clasificación por la granulometría

Tipos de mezclas	Descripción
Mezclas Continuas	Cantidad distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo
Mezclas Discontinuas	Cantidad limitada de diferentes tamaños de agregado pétreo

Fuente: (Reyez Lizcano , 2003)

7.5 Mezcla asfáltica modificada

La mejora de las mezclas asfálticas con modificadores hace que disminuya el impacto generado al medio ambiente sin disminuir sus características reológicas y físicas; como su nombre lo indica, busca la adición de un elemento externo a los agregados pétreos ya conocidos para atenuar patologías propias de los pavimentos.

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor calidad para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

- ❖ Durabilidad: Es la característica que tiene el asfalto tradicional cuando está expuesto a técnicas de envejecimiento y degradación
- ❖ Adhesión: En la mezcla de pavimento es la capacidad de adherirse al agregado.
- ❖ Cohesión: Es la capacidad del asfalto de mantener firme sus partículas de agregado en el pavimento terminado.
- ❖ Susceptibilidad a la temperatura: Siendo el asfalto termoplástico; nos dice que a medida que la temperatura baja se endurece, y más blandos a medida que su temperatura aumenta.
- ❖ Endurecimiento y envejecimiento: Es el proceso de oxidación su origen inicial, por lo cual se origina en temperaturas altas y en películas delgadas de asfalto.

7.5.1 Propiedades necesarias para el diseño de mezclas

Las características principales para diseñar mezclas asfálticas adecuadas a las necesidades de un proyecto son:

- ❖ Estabilidad

Esta resiste al desplazamiento y deformación bajo cargas de tránsito, y frente a cargas constantes se vuelve estable cuando el pavimento se conserva y es inestable a ondulaciones siendo variable.

- ❖ Durabilidad

El pavimento frente a factores de desintegración como habilidad para resistir sus cambios de propiedades, como resultado de la acción del tránsito, clima y otros.

- ❖ Impermeabilidad

Restringe el paso de agua y aire, relaciona en la mezcla compactada en la relación de vacíos.

- ❖ Trabajabilidad

Describe la facilidad de situar y compactar mezclas en la pavimentación, obteniendo a su vez ciertos parámetros modificables en una mezcla cuando no tienen una buena trabajabilidad ya sea en cuanto agregado y/o granulometría.

- ❖ Flexibilidad

Es la capacidad que tiene el pavimento para acomodar el contenido de manera deseable como contrarrestarse o expandirse.

❖ Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad que tiene una superficie de pavimento de contrarrestar el deslizamiento de los vehículos cuando este se encuentra húmedo.

La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

7.5.2 Propiedades reológicas

El asfalto reúne las propiedades del material para soportar cargas impuestas por el tráfico a temperaturas ya establecidas, teniendo como referencia el estudio de flujo y deformación para formar sus propiedades usando los ensayos dados a continuación:

- ❖ Penetración
- ❖ Punto de Ablandamiento.
- ❖ Ductilidad
- ❖ Punto de inflamación
- ❖ Solubilidad
- ❖ Contenido de agua
- ❖ Índice de penetración

Los ensayos se consignan en las Normas INVIAS 2013 y se utilizan en la construcción de pavimentos.

7.5.3 Características de mezclas asfálticas modificadas

Toda mezcla asfáltica explorada en laboratorios debe instituir el desempeño permitido en la estructura del pavimento. Este análisis se ubica inicialmente en el comportamiento de la mezcla teniendo en cuenta las siguientes características:

❖ Densidad

La densidad de la mezcla compactada se define por su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla), es una característica de mucha importancia debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un óptimo rendimiento.

❖ Vacíos

Son espacios pequeños de aire, que están entre los agregados de la mezcla compactada, Para que las mezclas en su totalidad sean densas y que se reduzca cierto porcentaje de vacíos en la compactación adicional bajo el tráfico, y de esta manera pueda fluir el asfalto durante su compactación.

El porcentaje autorizado de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo específicamente del diseño.

❖ Vacíos en los agregados

Los espacios de aires son comúnmente conocidos como vacíos en el agregado mineral (VMA) que se encuentran en las partículas en una mezcla de pavimento compactada.

❖ Contenido de asfalto

El contenido óptimo de una mezcla maneja proporción entre la granulometría y la capacidad de absorción del agregado entre más finos contenga la graduación de la mezcla, la cantidad de asfalto que se necesita para cubrir uniformemente las partículas.

7.6 Materiales utilizados como agentes modificadores

7.6.1 Materiales naturales

Asfáltitas: Sustancias naturales de tono oscuro luminoso, formada de hidrocarburos con oxígeno pobre y pesos moleculares altos.

Ventajas

- ❖ La viscosidad del ligante a temperaturas altas aumenta y el modulo dinámico.
- ❖ El fenómeno de ahuellamiento baja.
- ❖ La estabilidad Marshall incrementa como la resistencia al agua en las mezclas.

7.6.2 Zeolita

De origen volcánico natural no metálico, sustituye sin alterarse, limpio y libre de contaminación.

.

Ventajas

- ❖ porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica disminuyen en el proceso.
- ❖ Permeabiliza la mezcla, aumenta la estabilidad.

7.6.3 Cera

Son ésteres de ácidos grasos duras en frío y al calor moldeables y blandas.

Ventajas

- ❖ En el proceso fabricación y compactación bajan las temperaturas.
- ❖ Reduce el espesor de la carpeta asfáltica y aumenta la rigidez.
- ❖ Las emisiones producto de efecto invernadero disminuyen.

7.6.4 Hidróxido de calcio

Conocido como cal apagada es de color blanco incoloro producto de accionar agua y oxido de calcio.

Ventajas

- ❖ El envejecimiento disminuye en las mezclas recicladas.
- ❖ No se deteriora por la acción de los rayos UV y minimiza costos.
- ❖ Actúa como permeabilizante en la mezcla.
- ❖ Adhiere la mezcla compactada.

7.6.5 Fibra de coco

Residuos derivados del proceso del coco para el consumo humano en todas sus presentaciones.

Ventajas

- ❖ la estabilidad de las mezclas mejora
- ❖ la plasticidad de la mezcla incrementa permitiendo cargas mayores.

7.7.1 Materiales sintéticos

7.7.2 Icopor

Material rígido plástico rígido fabricado a partir del expandido del poliestireno.

Ventajas

- ❖ Mejora de la estabilidad.
- ❖ En climas cálidos aumenta la rigidez.
- ❖ Disminución el peso unitario, reduce carga sobre la subrasante y favorece la disipación de esfuerzos al suelo.

- ❖ Reduce deformaciones por ahuellamiento permanentes.

7.7.3 Pvc

Es un material plástico derivado del cloruro de sodio.

Ventajas

- ❖ Resiste mecánicamente bajo carga monotónica.
- ❖ Mejora de la rigidez en las mezclas.
- ❖ Resiste a la deformación permanente.
- ❖ el fenómeno de ahuellamiento en climas cálidos disminuye.

7.7.4 Polímeros

Son sustancias formadas de la unión de moléculas llamadas monómeros que toman diversas formas. (Maxil Coyopoti, R & Salinas Hernandez, M, 2006)

✓ Polímero tipo I

Modificador que mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas en altas y bajas temperaturas. (Maxil Coyopoti, R & Salinas Hernandez, M, 2006)

Ventajas

- ❖ Mejoramiento de la resistencia para carpetas con elevados niveles de tránsito.

✓ Polímero tipo II

Modificador del comportamiento de las mezclas en temperaturas bajas. (Maxil Coyopoti, R & Salinas Hernandez, M, 2006)

Ventajas

- ❖ Mejora en el comportamiento de servicio de la carpeta asfáltica.

- ✓ Polímero tipo III

Modificador del comportamiento de las mezclas asfálticas a temperaturas altas. Fabricado con base en un polímero de tipo elastómero. (Maxil Coyopoti, R & Salinas Hernandez, M, 2006)

Ventajas

- ❖ La resistencia mejora para carpetas con altos niveles de tránsito.

7.7.5 Caucho molido de neumáticos

Modificador fabricado de la molienda de neumáticos y desechos sintéticos. (Figueroa, Castillo, & Reyes, 2007)

Ventajas

- ❖ Incrementa la flexibilidad de la mezcla.
- ❖ Aumenta la resistencia a la tensión.
- ❖ disminuye de agrietamiento por fatiga en los pavimentos.
- ❖ Genera impacto ambiental positivo generado por los neumáticos.

7.7.6 Caucho y cuero sintético

Producto de residuos industriales de cuero y caucho como modificador en las mezclas. (Piragauta & Bacca, 2015)

Ventajas

- ❖ Aumenta la estabilidad, el flujo y rigidez Marshall.
- ❖ Resiste a la tensión.
- ❖ Reduce costos de producción en mantenimiento.

7.7.7 Poliestireno

Es un polímero vinílico, producido a partir del monómero estireno.

Ventajas

- ❖ Aumenta la viscosidad, mejora la rigidez y es resistente en deformaciones.
- ❖ Disminuye el ahuellamiento en mezclas asfálticas con altas temperaturas de preparación.

7.7.8 Polietileno

Es producto de polimerizar con radical libre el monómero etileno.

Ventajas

- ❖ Resiste a la deformación, aumenta la viscosidad y mejora la rigidez.
- ❖ Reduce del ahuellamiento en mezclas asfálticas a altas temperaturas

7.7.9 Desperdicio de bolsas plásticas

Son los desperdicios de las bolsas plásticas ya usadas.

Ventajas

- ❖ Aumenta el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con reciclado.
- ❖ Disminuye el impacto ambiental generado por los desechos de las bolsas

7.8.0 Polietileno de baja densidad (PEBD)

Es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, como el polipropileno y los polietilenos, conformado por unidades repetitivas de etileno.

Ventajas

- ❖ En la mezcla asfáltica mejora el comportamiento mecánico.
- ❖ disminuye del impacto ambiental notablemente.

7.8 Residuos de demolición y construcción

Los residuos de construcción resultan de la demolición y construcción de nuevos edificios e infraestructuras, restauración entre otros, las composiciones de los RCD varían en cuanto a la función de cada tipo de infraestructura, las materias primas que se utilizaran teniendo en cuenta según el país del que se esté hablando puede variar de la disponibilidad de los mismos y las costumbres en el proceso constructivo.

En Colombia se generan 22 millones de toneladas de RCD, solamente en la ciudad de Medellín en el año 2015 se generó 2.232.002 toneladas y se espera que para el año 2027 se generen 2.526.807 toneladas, en la ciudad de Cali se generó 438.365 m^3 en el año 2016 y en Bucaramanga se generó 4.642.32 toneladas de los cuales no se aprovechó ningún porcentaje puesto que no se dispone de infraestructura de disposición final y recolección de estos para darle el tratamiento correcto a este fin, ni tampoco de estudios de mercadeo que evidencien diferentes alternativas de aprovechamiento. (Universidad Nacional de Colombia , Septiembre de 2017)

7.8.1 Residuos cerámicos

Este es un componente principal en la construcción de edificaciones ya que es utilizado en la de fachada de paredes e interiores por lo tanto su fracción en los RCD es considerable debido a que es muy usual el recorte y desperdicio de estas piezas, por lo cual es recomendable la reutilización como material de relleno o en la utilización de adición de mezcla asfáltica porque pueden proporcionar un comportamiento aceptable para capas intermedias e incluso, de rodadura. La adición de agregado cerámico como sustitución parcial se materializa en un leve aumento de dotación de ligante de mezclas, obteniendo generalmente, mezclas bituminosas con menor densidad y una disminución de las deformaciones plásticas por rodadura. (Universidad Nacional de Colombia , Septiembre de 2017)

7.8.2 Cerámica

La importancia de la cerámica dentro de la industria es con relación al sector de la construcción siendo más empleada en revestimientos en pisos y paredes. El sector cerámico en Colombia el 80 % de la producción pertenece a cuatro empresas las cuales son Col Cerámica S.A (Grupo Corona), cerámica Italia donde tiene el 10 % del mercado de pisos en el país, Alfagres. S.A y Euroceramica. Entre 1991 y 2001 la industria de la cerámica aumento pasando de 52 establecimientos a 57. (Informe de Coyuntura Economica Regional, 2014)

Los materiales cerámicos son sólidos inorgánicos que se constituyen por elementos no metálicos a partir de estructuras de arcillas en su mayoría óxidos, aunque se emplean carburos, nitruros, boruros y siliciuros unidos entre sí, que se someten a molienda o amasado, se moldean y posteriormente son secadas mediante tratamiento térmico en procesos físico-químico por lo que obtiene consistencia.

Tabla 5 Tipos de Baldosa Cerámica

Tipo de Baldosa	Característica
Azulejo	Presenta una absorción alta de agua de 11 - 15 %, es comprimida en seco, esmaltada y fabricada por bicoccion o monococción, se emplea como revestimiento de paredes interiores.
Pavimento de Gres	Presenta absorción de agua entre 2 – 6%, alta resistencia a la abrasión, son fabricadas por monococción y se emplea para suelo de interiores
Gres Porcelánico	La absorción del agua es menor a 0.1 % son prensadas en seco, no esmaltadas y por lo tanto se someten a una única cocción
Baldosín Catalán	La absorción de agua es mayor al 10 %, se emplea para el solado de las terrazas, balcones entre otros.
Gres Rústico	La absorción de agua es menor al 8 %, la carga de rotura es de 500- 1800 N, se emplean para el revestimiento de las fachadas e incluso para espacios públicos
Barro Cocido	La absorción del agua está entre 6 – 15% y presenta una carga de rotura entre 2300 – 3200 N

Fuente: (Restrepo Baena, 2011)

Existe un amplio portafolio de empresas dedicadas a la producción o transformación del mineral cerámico mayormente en Antioquia, siendo es Cerámicas Corona la principal y más grande, quien se originó en caldas en la década de los 80, durante el año del 2013 surgió un incremento de 161,53% con respecto al año de 1999 la cual logro expandirse de 13 a 34 compañías (Montoya Rivas & Montoya Rivas, 2014)

De acuerdo a indagaciones en la cámara de comercio de Cúcuta durante el 2006 al 2009 creció considerablemente la demanda que origino la apertura de 67 nuevas empresas a nivel departamental para que se encargaran de la elaboración y comercialización de productos derivados de la arcilla. (Antuny Pabón , Bastos Osorio, & Mogrovejo Andrade, 2015)

8. Metodología de trabajo

8.1 Enfoque y Tipo de la Investigación.

Esta investigación estará centrada en el análisis técnico de la experimentación recopilada de mezcla asfáltica modificada con investigaciones de un materiales reciclable que pueden ser (ceniza, polímeros, cerámica, rcd y grano de caucho,) enfocada en el mejoramiento de pavimentos, seleccionando avances internacionales que impliquen metodologías de diseño que resalten aquellas ventajas y desventajas en la actualidad alrededor del mundo, siendo los más relevantes quienes fundamenten nuestra investigación como referencia bibliográfica.

Para llevar a cabo el proyecto se determinará la siguiente metodología:

- ❖ Investigación y recopilación de bibliografías técnicas de las bases de datos de mezclas asfálticas modificadas realizada alrededor de los diferentes continentes del mundo.
- ❖ Análisis de las diferencias y semejanzas de los materiales utilizados en mezclas asfálticas modificadas y su desempeño para uso en diferentes espacios climáticos.
- ❖ Realizar evaluación de las ventajas y desventajas del material utilizado en mezclas asfálticas modificadas.
- ❖ Elaboración de conclusiones y recomendaciones para continuar con la investigación

8.2 Recopilación bibliográfica de técnicas de mezclas asfálticas modificadas realizada alrededor del mundo.

✓ **Europa**

Tabla 6. Aplicabilidad de los agregados alternativos en el asfalto Pavimentos y sus requisitos de rendimiento

País	Titulo	Investigación	Aportes	Autores
Italia	<p>Aplicabilidad de los agregados alternativos en el asfalto Pavimentos y sus requisitos de rendimiento</p>	<p>En el reino unido el actual manual de carreteras esta orientado en la HD35 sobre conservación de materiales secundarios en la construcción de pavimentos. El objetivo de esta investigación es identificar requisitos de rendimiento funcional existentes en el pavimento para permitir un rango amplio como sea posible, a su vez según los estandares británicos busca resaltar cambios que han introducido los nuevos estandares de asfalto con respecto al uso de materiales reciclados desde la arminoización de la UE en 2008, y así comprobar que tan adecuados son para el rendimiento, especificación y conformidad de pruebas de producción.</p>	<p>El aporte obtenido por parte de las normas europeas fue eliminar para el asfalto las barreras que impedian el uso de agregados alternativos en mezclas de asfalto, siempre que ambos agregados y la mezcla cumplan con las categorías de rendimiento especificadas, permitiendo una absorción más amplia de materiales alternativos en el asfalto, por lo cual es necesario que las especificaciones de asfalto incluyan un requisito simple que de una proporción del agregado sea de una o más alternativas , instituciones nacionales tales como BSI en base a su experiencia permiten explícitamente una cierta proporción de mezcla para incluir materiales de fuentes alternativas. Esto proporciona un punto de referencia en toda Europa para evaluar la reducción en el uso de agregados primarios en mezcla de asfalto Los criterios de rendimiento / producto final proporcionando un punto de partida para el desarrollo , siendo evidente que hay un deseo en el mercado actual de utilizar efectivamente esta abundante fuente de reciclado y agregados secundarios, por lo cual reduce la necesidad de agregados primarios en la construcción de carreteras, potencialmente reduciendo las distancias de transporte y logrando beneficios reales en sostenibilidad y costo.</p>	<p>Segunda Conferencia Internacional sobre Materiales y Tecnologías de Construcción Sostenibles 28 de junio 30 de junio de 2010, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia, Morteza Zohrabi y Seema Karami</p>

Fuente: propia

Tabla 7. Utilización agregados cerámicos reciclados obtenidos de la industria del azulejo en el diseño de un curso de uso abierto y calificado tanto en laboratorio como in situ

País	Titulo	Investigación	Aportes	Autores
España	<p>Utilización agregados cerámicos reciclados obtenidos de la industria del azulejo en el diseño de un curso de uso abierto y calificado tanto en laboratorio como in situ</p>	<p>El proposito en el que se baso esta investigación es evaluar la viabilidad tecnica del uso de desechos de baldosa de gres porcelánico y de ceramica como reemplazo de agregados en curso de grado abierto en caliente, con el fin que reduzca los efectos ambientales de la eliminación de desechos y la demanda de agregado natural. El curso de mezcla bituminosa investigado fue un curso de uso abierto y calificado, Los desechos de la industria de baldosas cerámicas se trataron para obtener agregados reciclados, Estos agregados fueron caracterizados y probados para ver su idoneidad al ser utilizados en mezclas bituminosas. El proceso de diseño de la mezcla consistió en el estudio de mezclas preparadas con agregados naturales y reciclados, Las mezclas se produjeron tanto en el laboratorio como en una planta de asfalto evaluando la influencia de la producción in situ y los factores de escala. El contenido de agregados cerámicos reciclados se estableció para obtener características mecánicas y superficiales apropiadas, además de maximizar la reutilización de materiales reciclados. .</p>	<p>Como resultado a la investigación, se encontro que los RCA son menos resistentes a la abrasión con respecto a la cuarcita en un tamaño de partícula similar, a su vez la práctica indica que una mezcla ajustada al 30% de estos materiales en sustitución parcial de agregado natural puede tener la mayoría de especificaciones españolas requeridas; Los RCA se caracterizan por una menor limpieza, gravedad específica y densidad aparente en comparación con los agregados de cuarcita.</p> <p>a su vez los RCM presentan una mejor resistencia a la deformación plástica, Por lo tanto, los desechos cerámicos reciclados se consideran técnicamente factibles para ser incorporados como agregados en mezclas de concreto asfáltico para cursos de desgaste con clasificación abierta.</p> <p>La mezcla con 30% de material cerámico reciclados por peso de áridos cumple con la mayoría de las características mecánicas y superficiales dentro de las especificaciones españolas para utilizarse en capas superficiales de la carretera para disposición de volúmenes de tráfico medio-bajo, con la excepción de la sensibilidad al agua ya que debe mejorarse ajustando la fórmula de trabajo.</p>	<p>Ramón Silvestre1 ; Esther Medel2 ; Alfredo García3 ; y José Navas 4,2013. Universidad politécnica de valencia.</p>

Fuente: propia

Tabla 8. Efectos sobre la durabilidad del concreto del uso de agregados cerámicos reciclados

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Portugal	Efectos sobre la durabilidad del concreto del uso de agregados cerámicos reciclados	<p>Con el fin de tratar los desechos cerámicos de las industrias de cerámica y construcción como una de las partes más importantes en el volumen global de desechos de construcción y demolición (CDW), y dentro de una campaña de investigación en curso en el Instituto Superior Técnico (IST), en relación con la reutilización y el reciclaje de CDW, se ha estudiado la viabilidad de reemplazar los agregados primarios de piedra caliza con desechos cerámicos en la producción de losas de pavimento de concreto ya que los desechos cerámicos hoy en día pueden variar el uso, uno de los cuales como agregado grueso para artefactos de concreto, por esto se realizó las pruebas de compresión y flexión realizadas previamente han demostrado la idoneidad mecánica de reemplazar, al menos parcialmente, los agregados de piedra caliza con los reciclados de cerámica. En este documento, se busca presentar el resultado de las pruebas de absorción de agua, ya sea por capilaridad o por inmersión, y otros acerca de las pruebas de resistencia a la abrasión, todos relacionados con la durabilidad del concreto a largo plazo.</p>	<p>1. En base al rendimiento mecánico, en términos de resistencia a la compresión y a la tracción, el uso de agregados cerámicos reciclados para concreto es adecuado. 2. El principal problema del uso de agregados gruesos de cerámica como sustituto de los agregados de piedra caliza es su mayor absorción de agua, la durabilidad a su vez puede ser su mayor insuficiencia al aumentar de manera muy regular y significativa con la proporción de agregados cerámicos en la mezcla de concreto.</p> <p>3. El problema de alta absorción de agua puede resolverse parcialmente utilizando un método de pre-saturación de los agregados, fácilmente reproducible en el sitio, como el utilizado en este experimento.</p> <p>4. En efectos tales como losas de pavimento, la resistencia (compresión o tensión), la mecánica, y la resistencia a la abrasión es mucho más relevante. Esta última característica es aquella en la que el hormigón producido con áridos cerámicos reciclados tiene un excelente rendimiento, incluso mejor que el hormigón ya conocido.</p> <p>5. A pesar del carácter parcial de las pruebas aquí mostradas, se puede ultimar que el reemplazo, incluso parcial, de agregados gruesos de piedra caliza por cerámicos reciclados en losas de pavimento de concreto es factible.</p>	<p>J. R. Correia · J. de Brito · A. S. Pereira. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal.</p>

Fuente: propia

Tabla 9. Desarrollo de nuevos materiales para áridos secundarios y reciclados en infraestructura vial

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Reino Unido	<p>Desarrollo de nuevos materiales para áridos secundarios y reciclados en infraestructura vial Preparado para el Departamento de Comercio e Industria (DTI), Residuos y Programa de Acción de Recursos (WRAP)</p>	<p>El informe tiene como objeto investigativo promover de manera eficiente el uso productos secundarios y reciclados agregados en la infraestructura de carretera, el contexto se realizó bajo las especificaciones de carretera Works (SHW) y en base a esto se realizó un examen de las experiencias internacionales, para resaltar la investigación innovadora, técnicas y programas que podrían introducirse en el Reino Unido. Al comparar las experiencias locales e internacionales, se identificaron varios materiales para los cuales se podría extenderse a aplicaciones de mayor valor entre estas encontramos residuos de construcción y demolición, incinerador cenizas de fondo, vidrio, plástico y caucho para neumáticos como alternativa de agregados, La revisión también destaca el potencial para desarrollar nuevas aplicaciones de materiales hidráulicos encuadrados y hormigón compactado con rodillo utilizando cenizas volantes y escoria. También se evaluaron aspectos técnicos, ambientales y que barreras regulatorias para el uso de materiales nuevos, la evaluación aborda los problemas técnicos relevantes y destaca cualquier falta de conocimiento sobre las características de rendimiento que pueden tener un impacto en el uso potencial de nuevos materiales. económico de materiales alternativos, rendimiento del material y potencial para reciclaje futuro.</p>	<p>* El SHW actualmente no tiene una disposición final específica para el uso de algunos materiales alternativos, que han sido permitidos en otras especificaciones internacionales, como vidrio y caucho materiales, para capas de base en la construcción de carreteras.</p> <p>* Falta de conocimiento sobre el rendimiento del material, características y su comportamiento en compuestos, junto con la falta de rendimiento final las especificaciones constituyen las principales barreras técnicas para El uso de nuevos materiales y aplicaciones.</p> <p>*Examen de experiencias británicas e internacionales indicó una serie de materiales que tienen potencial para aplicaciones de mayor valor, pero actualmente tienen uso limitado en el Reino Unido. Éstos incluyen desechos de construcción y demolición, fondo del incinerador cenizas, vidrio, plástico y caucho para neumáticos como alternativa en agregados.</p> <p>* Los residuos de plástico y caucho se producen en relativamente pequeñas cantidades, pero tienen el potencial de mejorar las propiedades de deformación del hormigón y las mezclas de asfalto.</p>	<p>Hassan KE, Elghali L, Sowerby C. Unpublished project report PR CPS/30/03; 2004</p>

Fuente: propia

Tabla 10 Hormigones ecoeficientes: impacto del uso de polvo de cerámica blanca en las propiedades mecánicas del hormigón.

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
España	<p>Hormigones ecoeficientes: impacto del uso de polvo de cerámica blanca en las propiedades mecánicas del hormigón</p>	<p>La reutilización de los residuos de la construcción y la demolición es uno de los propósitos más importantes en la Unión Europea (UE) y también en España. Uno de los desechos más importantes, debido a su amplia gama de posibilidades de reutilización, son los desechos cerámicos de la industria de la construcción y la cerámica. El objetivo de esta investigación dar a conocer algunas de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto producido en laboratorio al que se le hizo una adición de diferentes Proporciones de polvo cerámico blanco como agregado fino, obtenido de los escombros de la zona de demolición y de los desechos de las industrias cerámicas. Para esto se llevaron a cabo experimentos iniciales para caracterizar el polvo cerámico y su idoneidad como agregado fino. Posteriormente, los resultados de los ensayos concretos (compresión, flexión y tracción Prueba brasileña) muestran que el concreto obtenido tiene las mismas características mecánicas que el que se realiza con arena convencional.</p>	<p>Al final del estudio se concluyo que: 1- El uso de polvo de cerámica blanca para sustituir parte de la arena no reduce la resistencia a la compresión pero más bien da un aumento apreciable en la fuerza. 2- Con respecto a la resistencia a la tracción, la introducción de polvo de cerámica blanca no da ninguna apreciable diferencia en comparación con el hormigón de control. 3- El uso de este producto de desecho de la industria de la construcción en la fabricación de concreto lo convierte en un material ecoeficiente, ya que reduce la acumulación de residuos y explota su energía incorporada.</p>	<p>V. López¹ ; B. Llamas² ; A. Juan¹ ; J.M. Morán¹ ; I. Guerra¹ ¹ Universidad de León, Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria, Avenida Portugal 41, 24071 León, Spain;</p>

Fuente: propia

✓ Asia

Tabla 11. Rendimiento y evaluación térmica de la incorporación de agregados de cerámica de desecho en el uso de capas de pavimento asfalto.

País	Titulo	Investigación	Aportes	Autores
China	Rendimiento y evaluación térmica de la incorporación de agregados de cerámica de desecho en el uso de capas de pavimento de asfalto.	la investigación se basó en los materiales de desecho de la industria se usan comúnmente en la ingeniería vial. En este estudio, se utilizaron agregados de desechos cerámicos triturados (CWA) y se agregaron a mezclas de asfalto para investigar su uso potencial. Primero se empleó un método de elementos finitos (FEM) para examinar el efecto de la conductividad térmica del material sobre el gradiente de temperatura de la estructura del pavimento, y posteriormente se desarrolló el diseño de la mezcla para mezclas de asfalto con diferentes porcentajes de CWAs, y se probaron sus propiedades térmicas encontrándose un efecto significativo de la conductividad de la capa superficial en el pavimento de asfalto en las temperaturas. Finalmente, se recomienda que se agregue menos del 40% de CWA a las mezclas de asfalto para reemplazar los agregados gruesos naturales considerando su efecto en el rendimiento de las mezclas.	Este artículo presenta resultados sobre la aplicación de CWA en la capa de pavimento de asfalto y su efecto de resistencia térmica, las mezclas de asfalto con 0–60% de sustitución de CWAs por agregados gruesos naturales funcionan bien en el enrutamiento a alta temperatura, el agrietamiento a baja temperatura y la susceptibilidad a la humedad, excepto que las mezclas de asfalto con 80% de sustitución que no tienen suficiente resistencia a la humedad y al daño por enrutamiento, esto puede reducir efectivamente la conductividad térmica de las mezclas de asfalto; no obstante, la adición de CWAs puede aumentar la acumulación térmica para así obtener mejor rendimiento de costo. Nota: los autores recomiendan que el porcentaje de sustitución de CWA sea inferior al 40%.	Feng D, Yi J, Wang D. J Mater Civil Eng; 2013

Fuente: propia

Tabla 12. Características de la entrada de cloruro en morteros que contienen agregado de desechos cerámicos.

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Japon	Características de la entrada de cloruro en morteros que contienen agregado de desechos cerámicos.	<p>la investigación se basó en las características de la entrada de cloruro en mortero que contenía residuos de cerámica agregado (CWA) esto se hizo mediante el uso de un microanalizador de sonda electrónica, El CWA fue producido a partir de un aislante eléctrico de porcelana. Residuos a través de los procesos de trituración y molienda. Los Mortero CWA en el que se reemplazó todo el agregado fino con el CWA se estudió en comparación con el río típico mortero de arena (RS). Para ambos morteros, el agua para cementar la relación (W / C) se varió a 0,4, 0,5 y 0,6. la implementación se realizó al introducir el cloruro a los morteros a través de la inmersión. en una solución de cloruro de sodio al 5.0% en peso para 24, 48 y 96 semanas, siendo claramente evidente que el mortero CWA tenía menor penetración de cloruro que el mortero RS. Los morteros de CWA poseen un volumen de poro mucho menor que los morteros RS, mientras que el potencial zeta de ambas partículas no fue destacada de manera diferente. Por lo tanto, se indicó que la distribución del tamaño de poro es de mayor influencia que el potencial zeta.</p>	<p>Se dio como resultado: En todo el W / C y el tiempo de inmersión, el la profundidad de penetración de cloruro del mortero CWA es menor que la del mortero arena. el mortero CWA en comparación con el mortero RS tiene un potencial para reducir la entrada de cloruro incluso en tiempos de inmersión más largos de 96 semanas.</p> <p>-En la prueba de distribución de tamaño de poro obtenida por porosimetría de intrusión de mercurio, el poro acumulativo volumen del mortero CWA para poros mayores que 2 μm es similar a la del mortero RS. Sin embargo, el mortero de CWA exhibió volúmenes de poro más bajos en diámetros de poro que van desde 0.03 a 2 μm cuando en comparación con el mortero RS. El volumen de poros la reducción en el mortero de CWA fue probablemente porque La condición de secado al aire de la CWA utilizada en este estudio mejorado las zonas de transición interfacial.</p>	<p>Hiroshi Higashiyama • Manote Sappakittipakorn • Masanori Sano • Osamu Takahashi • Shigeru Tsukuma, Received: 4 January, 2014 / Accepted: Springer Japan 7 May, 2014</p>

Fuente: propia

Tabla 13 . Experimento de laboratorio sobre módulo resiliente de mezclas de asfalto modificado con BRA.

Pais	Titulo	Investigación	Aportes	Autores
China	Experimento de laboratorio sobre módulo resiliente de mezclas de asfalto modificado con BRA.	El objetivo de esta investigación es determinar el efecto potencial sobre el módulo elástico de las mezclas de asfalto del uso del aglutinante modificado granular de asfalto de roca Buton (BRA). Las pruebas del módulo de rigidez a la tracción indirecta (ITSM) se realizaron para examinar el módulo elástico de mezclas de asfalto sin modificar y modificadas con BRA para agregados densos graduados de 10 mm (DG10) y 14 mm (DG14) según el estándar AS-2891.13.1-1995. En estas pruebas, se eligieron tres porcentajes de aglutinante natural BRA, incluidos 10%, 20% y 30% en peso total de aglutinante de asfalto, como sustituto del aglutinante de asfalto base en las mezclas de asfalto modificado de BRA, con el fin de mejorar valores de módulo resiliente.	Los resultados mostraron que las mezclas de asfalto modificado con BRA que contenían 20% de aglutinante modificado con BRA eran menos sensibles a los cambios en la temperatura, el volumen del tráfico y la frecuencia de carga. También a su vez, la sustitución del 20% del aglutinante modificador BRA tuvo una reducción de la relación del período de descanso y el tiempo de carga en el módulo elástico de las mezclas de asfalto. Es importante tener en cuenta que el tipo de betún utilizado en las mezclas de asfalto tiene un efecto importante en el módulo elástico de las mezclas de asfalto, estas mezclas modificadas con BRA tienen un módulo de elasticidad mucho mayor que el de las mezclas de asfalto sin modificar, demostrando así que el BRA modificó las mezclas de asfalto con un 20% de aglutinante modificador BRA mejorado para ser un mejor rendimiento en esos factores como en comparación con las mezclas de asfalto no modificado.	Muhammad Karami a,† , Hamid Nikraz b , Surya Sebayang a , Laksmi Irianti a a Department of Civil Engineering, Lampung University, Bandar Lampung 35145, Indonesia, 24 August 2017.

Fuente: propia

Tabla 14 . Caracterización del tereftalato de polietileno reciclado como propiedades de reemplazo de agregado fino parcial y comportamiento de mezclas de asfalto para pavimentos de carretera

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Malaysia	<p>Caracterización del tereftalato de polietileno reciclado como propiedades de reemplazo de agregado fino parcial y comportamiento de mezclas de asfalto para pavimentos de carretera</p>	<p>El objetivo principal de este estudio busca evaluar el contenido óptimo de betún y las características del tereftalato de polietileno reciclado (PET) como reemplazo parcial de agregado fino en mezclas de asfalto para pavimentos de carreteras mediante la determinación de las propiedades de surcos, fatiga y rigidez. El porcentaje de PET reciclado sustituye el agregado fino en la mezcla de asfalto comenzando en un 25% y el contenido de betún comienza en un 4 a 6% del peso de la mezcla de asfalto. El agregado de plástico reciclado sustituto de tamaño de tamiz agregado entre 3.36 y 1.18 mm de contenido consecutivo con mezcla de asfalto caliente que usa el curso 14 (AC14) en la Especificación Estándar del Departamento de Obras Públicas (PWD) de Malasia. La prueba de módulo de rigidez a la tracción indirecta (ITSM) se usó con el fin de determinar el contenido óptimo de betún de la mezcla de asfalto modificado y seguido por la prueba axial de carga repetida (RLAT) y la prueba de fatiga por tracción indirecta (ITFT) a 1800 ciclos para investigar el enrutamiento y Las propiedades de fatiga de la mezcla de asfalto modificado con PET.</p>	<p>El resultado da a conocer el módulo de rigidez de valor más alto del 0% de asfalto modificado con PET con un contenido de betún del 5,5% a su vez todo el asfalto modificado con PET debe ser capaz de resistir la formación de baches en el pavimento de la carretera. Mientras tanto, el asfalto modificado con PET al 5% y 15% muestra más resistencia a la fatiga que el asfalto no modificado a 1800 ciclos. En conclusión, el contenido de betún de 5.5% y el agregado adicional de reemplazo de 5% de plástico PET reciclado en la mezcla de asfalto optimizaría todas las propiedades de ingeniería de la mezcla de asfalto para pavimento de carreteras.</p>	<p>Wan Mohd Nazmi Wan Abdul Rahman1 and Mohammad Affendy Oardin2, Faculty of Civil Engineering and Earth Resources Universiti Malaysia Pahang, MARCH 2016</p>

Fuente: propia

Tabla 15. Estudio de las características operativas del asfalto de carretera modificado con residuos de polietileno

Pais	Titulo	Investigación	Aportes	Autores
Kazajistán	Estudio de las características operativas del asfalto de carretera modificado con residuos de polietileno.	Debido al aumento anual en el número de vehículos, tráfico de pasajeros y carga, la carga en la superficie del hormigón asfáltico aumenta constantemente. Esto conlleva a una destrucción más rápida de la carretera. Dado que en este momento el ritmo de la construcción de carreteras está limitado por el alto costo o la carencia de materiales necesarios para la construcción de carreteras, una condición precisa para aumentar la eficacia de la construcción de carreteras es optimizando la calidad de los materiales de construcción de carreteras, En pro de mejorar la calidad de las superficies de las carreteras el uso de varios aditivos en la fabricación de revestimientos de hormigón asfáltico se vuelven necesarios, esto incluyen desechos de polímeros. La experiencia de operar carreteras de la República de Kazajistán muestra que la durabilidad de los revestimientos de hormigón asfáltico en ellas es mucho más baja que términos generales. Por lo tanto, conservar las carreteras en una condición que cumpla con los requisitos de los flujos de tráfico es imposible sin el uso de materiales y tecnologías nuevos y avanzados. El factor principal que afecta una fuerte disminución en la vida útil de los pavimentos es el uso de aglutinante de asfalto en mezclas de baja calidad como adhesivo, y es posible que no siempre cumplan con los requisitos de calidad deseados. La mejora de las propiedades del betún se puede lograr mediante la introducción de rellenos, superficie sustancias activas y diversos modificadores, en particular residuos poliméricos	Se estudiaron y finalmente se concluye que las propiedades fisicoquímicas del betún de carretera de grado BND 70/100. antes y después de la modificación con residuos de polímeros el uso de polímero conduce a una resistencia mejorada a cargas constantes y temperaturas elevadas, que debido a la presencia de una red de polímeros, aumentó resistencia al agrietamiento con una temperatura más baja, aumenta la resistencia al envejecimiento, resistencia a la temperatura, dureza y elasticidad. Los estudios han demostrado que al variar se puede lograr un contenido secundario de polímero logrando las propiedades de rendimiento requeridas del betún, a su vez se ha establecido que el uso de desechos de polímeros como un modificador de betún resolverá el problema ambiental de la contaminación ambiental por estos desechos. Dado que los platos desechables, los envoltorios de alimentos demoran en descomponerse durante al menos 100 años. Su contacto con lluvia y agua subterránea Acompañado por la lixiviación de una serie de compuestos orgánicos tóxicos (difenilamina, ftalato de dibutilo, fenantreno), inflamables (en caso de incendio, es bastante difícil extinguirlos), cuando se almacenan, sirven como fuente de enfermedades infecciosas.	Sataeva S.S. , Abdrakhmanova A.G., Universidad Técnica Agrícola de Zhangir Khan, Uralsk, Kazajistán

Fuente: propia

✓ América

Tabla 16 . Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con Asfaltita

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Colombia	Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfaltita	<p>la presente investigación evaluó experimentalmente el cambio en las propiedades mecánicas que experimenta una mezcla asfáltica densa en caliente (tipo MDC-2 acorde con INVIAS, 2007) cuando se adiciona por vía húmeda al cemento asfáltico una asfaltita proveniente de la Mina San Alberto (Santander, Colombia). Las propiedades que se evaluaron fueron la resistencia mecánica bajo carga monotónica, módulo resiliente y resistencia a la deformación permanente. Dos tipos de cemento asfáltico (CA) fueron modificados: CA 80-100 proveniente de la refinería de Barrancabermeja (Colombia) y CA 60-70 proveniente de Apiay (Colombia); Adicionalmente, se realizaron ensayos de penetración a diferentes temperaturas y punto de ablandamiento sobre los cementos asfálticos con y sin aditivo. Agregando asfaltita al cemento asfáltico se obtiene un material con mayor resistencia a la penetración y menor susceptibilidad térmica a fluir.</p>	<p>las mezclas asfálticas modificadas con asfaltita tienden a poseer un comportamiento rígido. A bajas temperaturas de servicio estas mezclas pueden tener un comportamiento frágil, llegando a pensar que tendrían un mejor desempeño en climas cálidos. Los valores de estabilidad y rigidez Marshall de las mezclas modificadas con CA 80-100 y CA 60-70 son mayores, para cualquier porcentaje de CA y asfaltita, en comparación con la mezcla convencional. Los mayores valores de estabilidad y rigidez se obtienen cuando se modifican con asfaltita las mezclas que emplean CA 80-100, a pesar que este tipo de asfalto presenta menor resistencia a la penetración y rigidez que el CA 60-70. Los módulos dinámicos de las mezclas modificadas con CA 80-100 son superiores a aquellos alcanzados por las convencionales, y los mayores incrementos se obtienen cuando la temperatura del ensayo aumenta. Lo anterior permite prever que la asfaltita como modificador de asfaltos puede ser un material que permita mejorar las características de rigidez y resistencia a las deformaciones permanentes de mezclas que sean utilizadas en climas cálidos.</p>	Kurmangalieva A.S.

Fuente: propia

Tabla 17. Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Colombia	<p>Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas</p>	<p>El estudio presente , evalúa en el laboratorio la influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia mecánica bajo carga monotónica (Marshall) de mezclas asfálticas en caliente modificadas con grano de caucho reciclado (Gcr), haciendo énfasis en su aplicación en la ciudad de Bogotá D.C. (Colombia), ya que bajo las condiciones climáticas de dicha ciudad, se ha reportado en obra la disminución de la temperatura de compactación con respecto a la óptima (hasta 30°C). Las mezclas se fueron fabricadas modificando por vía húmeda los dos cementos asfálticos que se producen en Colombia (CA 60-70 y CA 80-100), se emplearon dos granulometrías y fueron compactadas bajo temperaturas de 120, 130, 140 y 150°C, siendo esta última la temperatura de compactación inicial o de referencia de las mezclas.</p>	<p>El aporte del presente estudio evaluó en laboratorio, la influencia que tiene la disminución de la temperatura de compactación sobre la resistencia mecánica bajo carga monotónica, de mezclas de concreto asfáltico convencionales (sin modificador) y modificadas por vía húmeda con grano de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (Gcr). Para el caso de las mezclas convencionales, se observa una disminución notable de dicha propiedad (entre 20% y 34%) cuando disminuye la temperatura de compactación en 30°C, con respecto a la de referencia (óptima obtenida del ensayo de viscosidad). Para el caso de las mezclas modificadas, en tres (MAC-1AM, MAC-2AM y MAC-2BM) de las cuatro mezclas analizadas en el presente estudio, la disminución promedio fue de tan solo 10%, reportándose en una de ellas (MAC-1BM) incluso un ligero incremento de 6,7%. A su vez se observa un incremento en la resistencia bajo carga monotónica de las mezclas modificadas entre 17% y 30%, cuando disminuye en 10°C la temperatura de compactación. Adicionalmente se observa que en laboratorio, un decaimiento de 20°C en la temperatura de compactación, no genera disminución en la resistencia de las mezclas analizadas. En términos generales, al decaer la temperatura de compactación, el mejor comportamiento en cuanto a resistencia mecánica bajo carga monotónica se refiere, lo experimentan las mezclas modificadas con Gcr.</p>	<p>Rondón-Quintana, Hugo A.; Molano-Mora, Yennifer; Tenjo-Lancheros, Angélica M. diciembre, 2012</p>

Fuente: propia

Tabla 18 . Mejora del rendimiento de la mezcla de asfalto al reemplazar parcialmente el betún con aceite de motor residual y modificadores de elastómero

País	Titulo	Investigación	Aportes	Autores
Estados Unidos	Mejora del rendimiento de la mezcla de asfalto al reemplazar parcialmente el betún con aceite de motor residual y modificadores de elastómero.	El estudio se formó en base a la inquietud que genera medioambientalmente la generación de residuos y la disminución progresivas de las reservas petroleras, originando la oportunidad de nuevos materiales que puedan reemplazar de cierta manera para ser utilizado en la industria de pavimentación de carreteras; El aceite de motor usado de los vehículos es un producto de desecho que podría responder a esa demanda, pero también puede reducir drásticamente la viscosidad, aumentando el potencial de surcos de la mezcla de asfalto. Consecuente a esto la modificación del polímero debe usarse para evitar desmejora a el rendimiento requerido de las mezclas de asfalto cuando se usan cantidades mayores de aceite de motor de desecho. Por lo tanto, el principal objetivo busca evaluar el rendimiento de un aglutinante / mezcla de asfalto obtenido al reemplazar parte de un betún de grado de pavimentación (35/50) con 10% de aceite residual de motor y 5% de estireno-butadieno-estireno (SBS) como elastómero modificador, realizando una comparación con los resultados de un estudio anterior que utilizaba una mezcla de bio-aceite de pirólisis rápida y un modificador de caucho para neumáticos molidos como un sustituto parcial del betún PG64-22 habitual. Los aglutinantes de asfalto se probaron por medio de espectros infrarrojos de Fourier y reología de cizallamiento dinámico, es decir, evaluando su grado continuo de alto rendimiento.	El aporte nuevo aglutinante de asfalto y la mezcla evaluados en este trabajo mostraron que la mezcla de betún, aceite de motor residual y SBS tiene mejores propiedades que las del asfalto convencional (B35 / 50), y da como resultado una mezcla de asfalto con un rendimiento mejorado en comparación con el convencional. las mezclas de asfalto con los nuevos aglutinantes modificados, a saber, con aceite de motor residual y SBS (B35 / 50 y MotorOil y SBS) y con bio-aceite y caucho molido (PG64-22 y cryoMBO), mostraron un muy buen desempeño en todas las pruebas llevado a cabo durante este estudio. Por lo tanto, se puede esperar una buena resistencia al agrietamiento por fatiga y fatiga a partir de estas mezclas. Además, estas mezclas no son sensibles a la humedad y se puede garantizar su durabilidad. El excelente rendimiento de los nuevos aglutinantes y mezclas con aceites derivados de residuos y modificadores de elastómeros hizo que el potencial de estas soluciones económicas y ecológicas para ser utilizadas en pavimentos de carreteras reales sea aún más evidente, resaltando que estas soluciones ahora deben aplicarse y evaluarse en una prueba de pavimento real, con el fin de que estos aglutinantes y mezclas alternativas sean validados por las administraciones de carreteras y estén listos para ser aplicados por la industria del pavimento.	Sara Fernandes 1,Joana Peralta 2,Joel R. M. Oliveira 1,R. Christopher Williams 3 andHugo M. R. D. Silva 1, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Iowa State University, Ames, IA 50011-3232, USA

Fuente: propia

Tabla 19. Mejora de la estabilidad de almacenamiento del asfalto modificado con goma de miga a través del control de su estructura de red interna

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Estados Unidos	Mejora de la estabilidad de almacenamiento del asfalto modificado con goma de miga a través del control de su estructura de red interna	La investigación actual investigó el efecto de la estructura de red interna desarrollada en el asfalto modificado con hule de miga (CRMA) sobre su estabilidad de almacenamiento. Los autores investigaron la influencia de los parámetros de interacción del modificador de caucho de miga de asfalto (CRM) (tiempo de interacción, velocidad de interacción y temperatura de interacción) en el desarrollo de la estructura de red interna en CRMA. Descubrieron así que la existencia de estructuras de red tridimensionales (3D) en el CRMA mejoraba su estabilidad de almacenamiento. Las pruebas de disolución y el análisis termogravimétrico (TGA) se llevaron a cabo en el CRM extraído después de la interacción con el asfalto para determinar el papel de las cantidades disueltas de CRM y los componentes liberados en el desarrollo de la estructura de red 3D en CRMA. Se encontró que los parámetros de interacción asfalto-CRM eran esenciales para inducir la formación de la estructura de red 3D.	La investigación actual dio como resultado que el efecto de la disolución de CRM y la liberación de componentes, bajo una combinación específica de condiciones de interacción, sobre la estabilidad de almacenamiento de la matriz completa de CRMA y la fase líquida junto a la existencia de una estructura de red 3D en la fase líquida de CRMA juega un papel importante para mejorar la estabilidad de almacenamiento de CRMA. El desarrollo de la estructura de red 3D fue el resultado de la liberación de componentes CRM en ciertas condiciones favorables (temperatura de interacción de 190 C y velocidad de interacción de 50 Hz) que no extiende los efectos de despolimerización y La utilización de FTIR y TGA verificaron la disolución, liberación y existencia de componentes CRM esenciales para la formación de la estructura de red 3D en CRMA que mejoró la estabilidad de almacenamiento de CRMA	Mohyeldin Ragab a , Magdy Abdelrahman b,† aPure Asphalt Company, Chicago, IL 60526, USA bMissouri University of Science & Technology, Rolla, MO, USA

Fuente: propia

Tabla 20. Alternativas de rehabilitación usando nuevas mezclas de caucho de asfalto con materiales brasileños

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
Brazil	Alternativas de rehabilitación usando nuevas mezclas de caucho de asfalto con materiales brasileños	<p>En Brasil la red vial, está compuesta predominantemente por pavimentos flexibles, la cual ha revelado un alto deterioro en los últimos años. Asimismo, el tráfico pesado y la vejez de los pavimentos pronostican un escenario de deterioro rápido, que requiere de nuevas alternativas para rehabilitar y así recuperar su calidad. El uso de caucho desmenuzado de neumáticos molidos en mezclas bituminosas para la rehabilitación del pavimento se ha implementado en los últimos treinta años, especialmente en los Estados Unidos. Sin embargo, en Brasil, solo se conocen algunos pocos experimentos. Por lo cual, el uso de las mezclas de caucho asfáltico pretende ser evaluado en cuanto al desempeño, tratando de incorporar características de los materiales locales (betún y caucho desmenuzado), así como las condiciones del tráfico y el medio ambiente. Por ende, el propósito del presente estudio pretende desarrollar mezclas para optimizar la fatiga y la resistencia a la deformación permanente, teniendo en cuenta las condiciones brasileñas. Las nuevas mezclas se acogerán como técnicas alternativas de rehabilitación, con el fin de evaluar su influencia en la mejora de la vida útil de los pavimentos ya existentes.</p>	<p>Los resultados de las pruebas de laboratorio mostraron que los materiales de caucho de asfalto brasileño son apropiados para rehabilitar pavimentos con éxito. Los valores del módulo de rigidez de las mezclas de caucho asfáltico no mostraron diferencias significativas, independiente de la fuente del aglutinante (mezcla terminal o mezcla continua). Por otro lado, el módulo de rigidez para la mezcla convencional presenta valores más altos que las otras mezclas, lo que nos permite ver que el pavimento exhiba niveles de deformación más bajos. A su vez Las curvas de vida de fatiga de la mezcla IBB15, producida con aglutinante de mezcla terminal, consiguió la mayor vida útil de fatiga que las mezclas de caucho de asfalto que la mezcla convencional. Del mismo modo, la prueba de deformación permanente muestra que la mezcla terminal IBB15 tiene un mejor rendimiento entre las mezclas estudiadas. Además, que el uso de mezclas de caucho asfáltico mejora la resistencia permanente. La mezcla con mejor rendimiento fue la mezcla IBB15, es decir, el uso de la gradación del Instituto de Asfalto con el 15% del caucho de asfalto de la mezcla terminal en proceso y que el comportamiento de las mezclas estudiadas para la reflexión de grietas tienen una ligera reducción del espesor de la superposición cuando se usan mezclas de caucho asfáltico, especialmente cuando se usa la mezcla de mezcla terminal estudiada.</p>	<p>Paulo A. A. Pereira and Jorge C. Pais; Glicério Trichês and Liseane P. T. L. Fontes University Federal of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil</p>

Fuente: propia

9. Análisis de resultados

En base a estudios técnicos realizados experimentalmente sobre metodologías de diseño de mezclas asfálticas convencionales respecto a modificadas con material reciclado, a fin de comparar mediante la recopilación de resultados mecánicos y dinámicos con el fin de analizar las ventajas y desventajas de ambas mezclas estudiadas.

✓ Parámetros mecánicos:

❖ Estabilidad

Según la compilación de la información recolectada la mezcla modificada con residuo cerámico al 30% presenta una estabilidad mayor a la mezcla convencional ya que se determinó que el uso de estos agregados reciclados mejora la reflexión de la luz solar del pavimento, reduciendo la temperatura en la superficie, disminuyendo la deformación y mejorando los niveles de estabilidad.

❖ Flujo

De la mezcla convencional se pudo concluir que a mayor porcentaje de asfalto este tendrá una fluencia más alta, cumpliendo así los límites requeridos por la norma que se encuentra entre 2mm y 4 mm. Siendo la mezcla modificada con residuo cerámico quien tenga menor fluencia frente a la mezcla convencional debido a que por medio de la experimentación va disminuyendo notablemente la deformación.

❖ Porcentajes de vacíos

El porcentaje disminuye en relación con los requerimientos de la norma mientras que el porcentaje de vacíos con aire se encontraron al límite de los parámetros de la norma, lo cual puede deducirse por la alta absorción del material de origen cerámico.

Tabla 21 Criterios por el método Marshall para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente.

CARACTERÍSTICA		NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO
			CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
			NT1	NT2	NT3	
Compacción (golpes/cara)		E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75
Estabilidad mínima (N)			5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15,000
Flujo(mm) (Nota 2)			2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)			2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-
Vacíos con aire (V _a), % (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			-
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			-
	T. Máx. 10 mm		16.0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %		E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75
Relación Llenante / Ligante efectivo, en peso		E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4
Concentración de llenante, valor máximo		E-745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey		-	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo µm		E-741	7.5			

Fuente: (Invias)

❖ Porcentaje de vacíos en agregado y densidad:

Cabe resaltar que en la experimentación con adición de 30% de cerámica el porcentaje de vacíos en los agregados minerales se encuentra por debajo del rango en una mínima proporción, lo cual convierte una mezcla modificada más densa en relación con la mezcla convencional.

Exaltando que los aspectos más notables a tener en cuenta dentro del diseño inicial, como son la estabilidad, el flujo y porcentaje de vacíos cumplen debidamente con los requerimientos de la norma, siendo así como se pudo concluir que mecánicamente la mezcla modificada frente a la convencional da un indicador de calidad de la mezcla asfáltica aceptable.

la mezcla asfáltica modificada con cerámica al 30% cumple casi en su totalidad con los criterios establecidos para las mezclas asfálticas convencionales de la Especificación General de Construcción de Carreteras en su capítulo 4, artículo 450: “Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua” (Invias, 2013).

Es importante atender a los criterios establecidos por la Especificación General de Construcción de Carreteras en su capítulo 4, artículo 450: “Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua” (Invias, 2013), en su tabla 450-10 sobre mezclas asfálticas convencionales. Acorde a lo anterior la cerámica como modificante de las mezclas asfálticas no tiene aún criterios definidos diferenciables establecidos para requerirse en el diseño Marshall dentro de las normas del INVIAS, lo cual sería un punto a tener en cuenta puesto que las características de agregado natural y cerámico son diferentes, Sin embargo, como se puede ver la mezcla asfáltica modificada con el 30% de cerámica tiene unas condiciones que son aceptables para incluirse en los rangos de la norma, o en su defecto, estar próximo a cumplirlos.

✓ Parámetros dinámicos:

❖ Susceptibilidad al agua:

Tanto en la mezcla original como en la mezcla modificada mostraron valores porcentuales muy similares lo que las hace aptas para la implementación. Demostrando la mezcla modificada un mejor comportamiento ante la resistencia a la tensión ya que es capaz de soportar el efecto del agua sobre la cohesión, según confirmó estudios previos sobre el uso de RCA en HMA, como el agregado de desechos sanitarios, con agregados reciclados del 20-40% agregado (aumento del 7.9%), mostrando una adherencia adecuada de agregados de aglomerante.

❖ Resistencia al ahuellamiento:

Al comparar los resultados de las mezclas recicladas incluyendo cerámica al 30%, se evidenció un buen comportamiento de deformación frente a la tradicional después de realizar las pasadas en la rueda de Hamburgo, como resultado en pruebas realizadas en la UPB nos indica que solo llego a 1 [mm] de deformación, en contraste con la mezcla asfáltica convencional que tuvo una deformación máxima de 1.29 [mm] tras 20.000 pasadas y en la UPV presentó una mejor resistencia a la deformación plástica, lo que dio como resultado una deformación de seguimiento

de la rueda un 30,2% menor, cumpliendo con las especificaciones españolas (PG-3) para Carreteras de tráfico medio-bajo , siendo así una mezcla favorable frente a una deformación vertical permanente.

❖ Módulos Resilientes:

Dentro de las mezclas asfálticas tenida en cuentas en este proyecto de grado con los estudios realizados en dos prestigiosas universidades se determinó que aunque aún no existan parámetros definidos en la norma de cada país, determinamos que en temperaturas de 5 a 25° tiene un mejor comportamiento la mezcla asfáltica convencional y en temperaturas de 30 a 40° los resultados son similares para ambas mezclas; indicando que a menor temperatura, la mezcla asfáltica convencional tiene mejor comportamiento al compararla con la mezcla modificada logrando tener un comportamiento elástico en temperaturas bajas, y ser menos susceptibles a los agrietamientos y a las deformaciones permanentes.

✓ Ventajas según los parámetros anteriormente mencionados:

- ❖ Mejora la refrigeración de la superficie asfáltica debido a la mayor reflexión solar del agregado cerámico.
- ❖ La RCA aumenta La resistencia a la deformación plástica y la tensión indirecta.
- ❖ Al optimizar los niveles de estabilidad del pavimento disminuye la deformación.
- ❖ Disminuye la susceptibilidad al agua demostrando que la mezcla modificada mejora frente al comportamiento a la tensión.
- ❖ Los resultados empíricos indican que un diseño ajustado de mezclas con Un 30% de RCA en sustitución parcial de agregados naturales puede cumplir La mayoría de las especificaciones españolas y colombianas requeridas.
- ❖ La mezcla modificada con RCA evidencio una reducción en la penetración en relación con el asfalto convencional, aumentando su rigidez, dureza y consistencia.

✓ Desventajas según los parámetros anteriormente mencionados:

- ❖ A más del 40% del agregado de residuos cerámicos añadidos da como resultado una baja resistencia a la tracción indirecta.

- ❖ La capacidad de absorción del RCA aumenta la sensibilidad al agua y puede fomentar problemas de rendimiento en la mezcla.
- ❖ El uso exclusivo de los residuos de porcelanato, es más denso y compacto que el gres y debería ser más analizado.
- ❖ La falta de estudios técnicos realizados en Colombia ya que para algunos ítems dinámicos no se encuentran valores estandarizados en normativas del invias.

Tabla 22 Aspectos ambientales de mezclas asfálticas convencionales

	Ventajas	Desventajas
Mezcla asfáltica Convencionales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Como se es conocido la implementación de las mezclas modificadas surgen de la afectación ambiental que desde el inicio se dio en las mezclas asfálticas convencionales, de ahí parte que en comparación entre estas dos siempre va ser más viable realizar una mezcla que aporte en alguna medida un beneficio al medio ambiente y esta no es la mezcla convencional. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Generación de material particulado y emisiones gaseosas. ✓ Alteración del suelo por derrame de químicos. ✓ Alteración de mantos acuíferos por filtración de derrames. ✓ Afectación del medio vegetal, alteraciones en su habitat y baja de la fauna del ecosistema en general donde se implemente el proyecto.

Fuente: Propia

Tabla 23 Aspectos ambientales de mezclas asfálticas modificadas

	Ventajas	Desventajas
Mezcla asfáltica modificadas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Actualmente darle manejo a la recolección de desperdicios es un problema, por lo que se busca reutilizar el antiguo pavimento restringiendo el adecuar un banco de materiales que involucren la ecología del lugar y se vea afectado por desechos. ✓ El reaprovechar la composición y transformar el material reciclado forma de manera ambiental un impacto positivo al crear de manera útil la disposición final de desperdicios incrementando su vida útil a lo largo de las vías. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Actividades como la conservación y construcción donde se extenderá el pavimento son donde se producen impactos negativos bastante significativos ✓ En los proyectos de pavimentación la provisión de materiales es necesarios esto involucra impactos ambientales que no siempre son favorables dentro de un ecosistema al verse afectado por factores externos a ellos. ✓ El agua, suelo y aire con impactos desencadenados del costo ambiental que ocurre en labores de construcción en los pavimentos.

Fuente: Propia

Tabla 24 Aspectos económicos de mezclas asfálticas convencionales

	Ventajas	Desventajas
Mezcla asfáltica Convencionales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El incremento en el precio de producción de la mezcla con reciclado genera altos costos en el presupuesto, siendo esto lo que provoca usar la mezcla convencional. ✓ Es un método de diseño usado en países como Colombia lo que traduce en un incremento de generación de empleo en todo el proceso de construcción disminuyendo las tasas de desempleo en lugares más distantes de comunidades principales. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los puntos de distribución de materiales cada vez están más retirados de las obras lo que traduce a la difícil extracción, recolección y distribución lo que aumenta los valores del pavimento y esto al final de manera significativa incrementa los presupuestos medios/bajo. ✓ El transporte es causal de altos costos vs tiempo incrementando notablemente los proyectos en cuanto al presupuesto por largos desplazamientos.

Fuente: Propia

Tabla 25 Aspectos económicos de mezclas asfálticas modificadas

	Ventajas	Desventajas
Mezcla asfáltica modificadas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La transformación del reciclado es en base a la restauración de materiales ya existentes, con modificadores que permitan crear una mezcla de calidad a un menor costo. ✓ El aprovechamiento de aglutinante en el reciclado de pavimento flexible logra un mayor ahorro energético 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ En el proceso de conseguir material final que requieren de procesos industriales tienen variables que generan presupuestos significativos, ya que al transformar el producto es imprescindible el aumento de gasto energético, mano de obra calificada, recolección de material y transporte para los mismos, esto crea incremento al momento de compra de materiales ✓ La mezcla con reciclado es una desventaja por el costo de producción vial es por ello que la mayoría deciden seguir usando la mezcla tradicional, pero al ver el gasto inicial en relación al tiempo este costo se transforma al no requerir de mantenimientos tempranos. ✓ En casos en el que la mezcla se transporta a la obra en volquetas carpadas, Sólo se admitirá el trabajo en horas de la noche si el interventor considera que existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de una manera apropiada y Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno, tendrá que disponer el personal adicional para completar el trabajo en el tiempo especificado, lo cual genera sobrecostos.

Fuente: Propia

Tabla 26 Impacto social y afectaciones a la salud de mezclas asfálticas convencionales

	Ventajas	Desventajas
Mezcla asfáltica Convencionales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Generación de fuentes de empleo para recepción de material para proceso de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Problemas de salud del personal a causa de contacto químico por derrames y manejo de los mismos. ✓ Problemas respiratorios en trabajadores por manejo de ácidos, olores tóxicos y daño a la salud auditiva por maquinaria. ✓ Transformación en los centros de población urbana, división de comunidades y aislamiento vial. ✓ Conflictos sociales en la población de trabajo.

Fuente: Propia

Tabla 27 Impacto social y afectaciones a la salud de mezclas asfálticas modificadas

	Ventajas	Desventajas
Mezcla asfáltica modificadas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entre los beneficios de la construcción de pavimentos flexibles esta la generación de empleo a la vez que implementa el desarrollo comunicativo entre comunidades alejadas. ✓ Las materias primas empleadas para la construcción de superficies de rodamiento de pavimentos flexibles no generan riesgo alto a la salud de los trabajadores, debido a sus bajas concentraciones, así como los tiempos de exposición bajos y el factor de dilución al desarrollar los trabajos a la intemperie. Por otro lado, el reemplazo de sustancias potencialmente contaminantes como los solventes orgánicos (etilvinil acetato, estireno y butadieno) con otras menos agresivas como las emulsiones, minimiza los riesgos a la salud. ✓ El asfalto con material reciclado muestra ahorro en mantenimiento y rehabilitación vial por su promedio de vida útil de hasta 15 años. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se generan impactos negativos en el medio de trabajo puesto que se generan gases tóxicos, ruidos con desniveles y sustancias peligrosas; siendo importante mitigar estos con equipos de protección al personal de acuerdo a las normas según cada actividad dentro de la construcción. ✓ Existen impactos mayores al 70% sin relevancia y solo el 2% no tienen manera de compensarse estos productos de la explotación de los que suministros de material.

10. Artículos relevantes sobre mezclas asfálticas modificadas usando la cerámica como el avance a nivel internacional.

Tabla 28 Artículo destacado realizado en Europa usando agregado cerámico en laboratorio como in situ.

País	Título	Investigación	Aportes	Autores
España	<p>Utilización agregados cerámicos reciclados obtenidos de la industria del azulejo en el diseño de un curso de uso abierto y calificado tanto en laboratorio como in situ</p>	<p>El propósito en el que se basó esta investigación es evaluar la viabilidad técnica del uso de desechos de baldosa de gres porcelánico y de cerámica como reemplazo de agregados en curso de grado abierto en caliente, con el fin que reduzca los efectos ambientales de la eliminación de desechos y la demanda de agregado natural. El curso de mezcla bituminosa investigado fue un curso de uso abierto y calificado, Los desechos de la industria de baldosas cerámicas se trataron para obtener agregados reciclados, Estos agregados fueron caracterizados y probados para ver su idoneidad al ser utilizados en mezclas bituminosas. El proceso de diseño de la mezcla consistió en el estudio de mezclas preparadas con agregados naturales y reciclados, Las mezclas se produjeron tanto en el laboratorio como en una planta de asfalto evaluando la influencia de la producción in situ y los factores de escala. El contenido de agregados cerámicos reciclados se estableció para obtener características mecánicas y superficiales apropiadas, además de maximizar la reutilización de materiales reciclados. .</p>	<p>Como resultado a la investigación, se encontró que los RCA son menos resistentes a la abrasión con respecto a la cuarcita en un tamaño de partícula similar, a su vez la práctica indica que una mezcla ajustada al 30% de estos materiales en sustitución parcial de agregado natural puede tener la mayoría de especificaciones españolas requeridas; Los RCA se caracterizan por una menor limpieza, gravedad específica y densidad aparente en comparación con los agregados de cuarcita.</p> <p>a su vez los RCM presentan una mejor resistencia a la deformación plástica, Por lo tanto, los desechos cerámicos reciclados se consideran técnicamente factibles para ser incorporados como agregados en mezclas de concreto asfáltico para cursos de desgaste con clasificación abierta.</p> <p>La mezcla con 30% de material cerámico reciclados por peso de áridos cumple con la mayoría de las características mecánicas y superficiales dentro de las especificaciones españolas para utilizarse en capas superficiales de la carretera para disposición de volúmenes de tráfico medio-bajo, con la excepción de la sensibilidad al agua ya que debe mejorarse ajustando la fórmula de trabajo.</p>	<p>Ramón Silvestre1 ; Esther Medel2 ; Alfredo García3 ; y José Navas 4,2013. Universidad politécnica de valencia.</p>

Tabla 29 Artículo destacado realizado en Asia evaluando la incorporación de cerámica en el uso de capas de pavimento asfáltico.

País	Título De Investigación	Investigación	Aportes	Autores
China	Rendimiento y evaluación térmica de la incorporación de agregados de cerámica de desecho en el uso de capas de pavimento de asfalto.	<p>El estudio estableció que los materiales de desecho de la industria se utilizan generalmente en la ingeniería de carreteras. En el cual se utilizaron agregados de desechos cerámicos triturados (CWA) y se agregaron a mezclas de asfalto para investigar su uso potencial. Primero se empleó un método de elementos finitos (FEM) para examinar el efecto de la conductividad térmica del material sobre el gradiente de temperatura de la estructura del pavimento, y que luego desarrolló el diseño de la mezcla para mezclas de asfaltos con diferentes porcentajes de CWAs, y Se probaron sus propiedades térmicas encontrándose un efecto significativo de la conductividad de la capa superficial en el pavimento de asfalto en las temperaturas. Finalmente, se recomienda que se agregue menos del 40% de CWA a las mezclas de asfalto para reemplazar los agregados gruesos naturales considerando su efecto en el rendimiento de las mezclas.</p>	<p>Este artículo presenta resultados sobre la aplicación de CWA en la capa de pavimento de asfalto y su efecto de resistencia térmica, las mezclas de asfalto con 0–60% de sustitución de CWAs por agregados grueso natural funcionan bien en el enrutamiento a alta temperatura, el agrietamiento a baja temperatura y la susceptibilidad a la humedad, excepto que las mezclas de asfalto con 80% de sustitución que no tienen suficiente resistencia a la humedad y al daño por enrutamiento, esto puede reducir efectivamente la conductividad térmica de las mezclas de asfalto; no obstante, la adición de CWAs puede aumentar la acumulación térmica para así obtener mejor rendimiento de costo. Nota: los autores recomiendan que el porcentaje de sustitución de CWA sea inferior al 40%.</p>	<p>Feng D, Yi J, Wang D. J Mater CiviilEng; 2013</p>

11. Recomendaciones para acciones de mejoramiento

- ❖ Se recomienda continuar el proceso de investigación de estas metodologías que permiten mediante estudios de laboratorio, de forma confiable, apropiar temperaturas en las mezclas y compactación de estas según su disposición final.
- ❖ Es recomendable que en proyectos a futuro en sus fases se incluyan variables como envejecimiento a corto y largo plazo de los asfaltos, módulos dinámicos, ahuellamiento y resistencia a la fatiga en el cual se establezca el beneficio-costeo.
- ❖ Es importante incluir en el área de los pavimentos aditivos de desecho industrial a modo de material alternativo u modificante con fin de mejora, lo cual brindaría un gran aporte ambiental a la vez que el impacto negativo disminuiría y se implementaría la cultura de desarrollo sostenible.
- ❖ La ejecución de una mezcla asfáltica modificada en infraestructura vial es recomendable si se analiza el beneficio económico inicial a largo plazo en el cual no se requiere de mantenimientos tempranos.
- ❖ Al momento de modificar los asfaltos se debe tener en cuenta la temperatura permanente de mezclado, puesto que una temperatura mayor al 180° C puede ocasionar que el asfalto pierda sus propiedades por procesos de oxidación.
- ❖ Se recomienda que la experimentación aumente en materiales y diversos factores como son otros porcentajes de modificantes, niveles de tránsito, diferentes asfaltos, entre otros, y así se pueda ampliar la investigación.

- ❖ Es recomendable abordar más las ventajas que aportan en la actualidad las mezclas asfálticas modificadas teniendo claro que está cambiando el mundo y que el mañana es de quien recicle y de quien pueda ver la transformación en lo que se conoce comúnmente como desechos.
- .
- ❖ Es recomendable la reutilización como material de relleno o la adición de agregado tipo material cerámico en la utilización de adición de mezcla asfáltica porque proporciona un comportamiento aceptable para capas intermedias, e incluso de rodadura ya sea como sustitución parcial disminuyendo las deformaciones plásticas por rodadura.
- ❖ Es de gran importancia continuar con la investigación para la implementación de nuevas tecnologías mediante la modificación con cerámica para mezclas asfálticas calientes in situ o en laboratorio.

12. Conclusiones

- ❖ La información tomada de las bases de datos relacionada con las mezclas asfálticas modificadas de un material reciclable, junto con la recopilación tomada de las diversas fuentes investigativas alrededor del mundo nos da un punto de partida en la inclusión de desechos y lo que estos pueden brindarles a los asfaltos dándoles un nuevo uso y de manera consecuente logrando maximizar el aprovechamiento de los recursos que mejora considerablemente las características del material convencional.

- ❖ Se realizó un balance comparativo de diseño en base a metodologías y resultados de la realización del proyecto en el transcurso de este, para la cual la mezcla asfáltica convencional como la mezcla asfáltica con material modificado cumplen con los criterios dados por la normativa mencionada en el presente documento. A la vez que se equilibran proporcionalmente las ventajas y desventajas que implica el uso de uno u otra mezcla sin afectar el resultado final ni disminuyendo la calidad de asfalto si no por el contrario; Es decir, el reemplazo de un 30% de agregados naturales por agregados de origen reciclable da lugar a una mezcla asfáltica que se puede utilizar en una capa intermedia de un pavimento asfáltico con un tránsito de tipo NT2, estas investigaciones se deben complementar con la experiencia práctica en tramos de prueba en campo, como se ha ejecutado en otros países alrededor del mundo para parametrizar más eficientemente especificaciones locales y normas de ensayo acordes a este tipo de mezclas asfálticas.

- ❖ Como se puede ver en los artículos relevantes internacionales en el numeral 8.2 del actual documento; la inclusión de reciclado industrial como modificador de las mezclas asfálticas es un tema que viene siendo de cierto impacto dentro de investigaciones realizadas alrededor del mundo en la que se puede ver la relevancia que ha venido tomando la utilización de materiales modificantes y la implementación en muchos países de primer mundo quienes nos llevan una ventaja abismal en cuanto a este uso asfáltico en la práctica, y en general en la academia de Colombia la intención por invertir sus esfuerzos en la búsqueda de la reducción

del consumo de recursos naturales a la vez que presentan beneficio/costo por más de 15 años en relación al valor inicial que este pueda provocar.

- ❖ Y por último nuestro objetivo final de servir como referencia bibliográfica que busque recomendar acciones de mejora a futura deja pautas para investigaciones nuevas acerca de la actualidad que se está viviendo en cuanto al uso de incorporar modificantes en la mezcla actual convencional ya que pocos desarrollos investigativos sobre el comportamiento dinámico de mezclas modificadas se han realizado en comparación con los resistencia a baja carga; lo anterior es debido a que no todas las instituciones tienen laboratorios equipados para medir estas propiedades dinámicas lo cual hace que químicamente se estudien comportamientos por separado lo cual no es lo ideal porque no se puede argumentar el amplio conocimiento de la técnica, esfuerzos futuros en conjunto pueden desarrollarse para crear un centro investigativo sobre asfaltos y mezclas asfálticas convencionales.

13. Bibliografía

- Antuny Pabón , J., Bastos Osorio, L. M., & Mogrovejo Andrade, J. M. (2015). *Impacto economico del sector cerámico en San José de Cúcuta*. Recuperado el febrero de 2019, de Universidad del Rosario: <https://revistas.urosario.edu.co/xml/1872/187243745007/index.html>
- arkiplus. (s.f.). *Arkiplus Artículos sobre arquitectura, construcción, paisajismo y arte*. Recuperado el noviembre de 2018, de <http://www.arkiplus.com>
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Bogotá.
- Asociacion de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia . (2004). *Cartilla del pavimento asfáltico*.
- Beleño Durán, M. F. (2015). *reologia de asfaltos 60/70 modificados con residuo de ceramica*. universidad piloto de colombia, bogota.
- Bull. (2003).
- Chacon Gonzalez, J. (25 de enero de 2014). *Asfalto o Concreto*. Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/economia/asfalto-o-concreto>
- Elias, M. P. (2013). *tesis comportamiento de una mezcla asfaltica modificada con polimero etilino vinil acetato*. UNIVERSIDAD CENTRAL DE ECUADOR, QUITO.
- Fonseca, A. (1997). *Ingenieria de Pavimentos para carreteras*. Bogota.
- Fonseca, A. M. (2002). *ingenieria de pavimentos*. bogota.
- Gallego-Medina, d. (2003). *MEZCLAS BITUMINOSAS CON BETUNES DE ALTO CONTENIDO EN CAUCHO DE NEUMATICOS UNA ELECCION POR LAS ALTAS PRESTACIONES*. MADRID: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.
- Gallego-Medina, D. (2003). *MEZCLAS BITUMINOSAS CON BETUNES DE ALTO CONTENIDO EN CAUCHO DE NEUMATICOS:UNA ELECCIÓN POR ALTAS PRESTACIONES*. Madrid: Universidad Politecnica De Madrid.
- H.a. Rondon, F. R. (2008). *COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA Densa DE ASFATO CALIENTE MODIFICADA CON DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)*. (Unimilitar, Ed.) Obtenido de <http://revistas.unimilitar.edu.co>
- H.A. Rondon, F. R. (2012). *comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo*. *revistas unimilitar*.
- (2014). *Informe de Coyuntura Economica Regional*. Antioquia: Departamento Administrativo Nacional de Estadistica.
- Instituto Nacional De Vias. (s.f.). *Especificaciones Generales De Construcción de Carreteras Articulo 400*. Obtenido de

https://www.academia.edu/22745558/Cap%C3%ADtulo_4_PAVIMENTOS_ASF%C3%81LTICOS_Art_400_DISPOSICIONES

- Invias. (2013). Artículo E - 213 Análisis Granulométrico de los Agregados Grueso y Fino. En INVIAS, *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras Sección 200 - Agregados Pétreos* (págs. 33-43). Colombia: INVIAS.
- Invias. (2013). Artículo 450 - Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico). En INVIAS, *Especificaciones generales de construcción de carreteras capítulo 4 - Pavimentos Asfálticos* (págs. 235-281). Colombia: INVIAS.
- Invias. (2013). *INVIAS*.
- Invias. (s.f.). www.invias.gov.co. Obtenido de INVIAS:
www.invias.gov.co/index.php/informacioninstitucional/139-documento-tecnicos
- Lizcano, F. A. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogota: Centro Editorial Javeriano.
- Maxil Coyopoti, R & Salinas Hernandez, M. (2006). *Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en el Asfalto*. Universidad de las Américas.
- Montoya Rivas, G. P., & Montoya Rivas, R. (2014). *Caracterización del sector cerámico tradicional del valle de aburra y los riesgos profesionales latentes en su proceso productivo*. Medellín.
- Ochoa Diaz, R. (2017). *Diseño de mezclas bituminosas para pavimentos con alquitran, usando las metodologías Marshall y Ramcodes*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Quiroz, A. (2012). *Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos*. Berlin, Alemania: Academica Española.
- R.Tabares, y. ... (2005). *tesis diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía la badea*. bogota: universidad nacional de colombia.
- Restrepo Baena, O. J. (2011). *Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución*. Medellín Colombia.
- Reyes Lizcano, F. a. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Bogota: Centro editorial colombiano y editorial escuela colombiana de ingeniería.
- Reyez Lizcano, F. A. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rodriguez, A. (15 de agosto de 2018). *UPC. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de mezclas asfálticas*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099>
- Rondon Quintana, H. R. (2015). *pavimentos, materiales, construcción y diseño*. bogota.
- Rondon, H. A., & Lizcano, F. A. (2014). *Pavimentos, Materiales, Construcción y Diseño*. Eco, ediciones.
- Solminihac. (2001).
- Solminihac, H. (1998). *GESTION DE INFRAESTRUCTURA VIAL*.

Sostenible, M. D. (28 de 02 de 2017). *redjurista*. Recuperado el 05 de 2019, de www.redjurista.com/Documents/resolucion_no._472_de_2017.aspx#/

Uce. (2013). *TESIS COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA MODIFICADA CON POLIMERO ETILINO VINIL ACETATO*. www.dspace.uce.edu.ec.

Unipiloto. (2015). *REOLOGIA DE ASFALTOS 60/70 MODIFICADOS CON RESIDUO DE CERAMICA*.
Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co>

Universidad Nacional de Colombia . (Septiembre de 2017). *Residuos de Construcción y Demolición RCD*.

Upb. (s.f.). *rehabilitación design.base de datos*.

urbana, i. U. (2010). utilization of asphalt/bituminous layers and coatings in railway trackbeds:A compendium of international Applications. *joint rail conference*, volumen 1 27-29.

Utrilla, A. d. (2007). *Diseño de una mezcla asfáltica de alto rendimiento para baches superficiales y profundos:tramos carreteros*. cholula,Puebla Mexico.