

PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE MONOGRAFÍA O PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Fecha de envío	Haga clic aquí o pulse para escribir una fecha.
-----------------------	---

Modalidad:	<input type="checkbox"/> Monografía	<input checked="" type="checkbox"/> Proyecto de investigación
-------------------	-------------------------------------	---

Título del trabajo	FACTIBILIDAD DEL USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS
---------------------------	---

DEL AUTOR O AUTORES

Nombre	DYNMER FRAYDAN GARCIA REYES		
Email	Dynmer.garcia@uptc.edu.co	Código	201710391
Cédula	1002340242	Teléfono	3112294255
Nombre	FARID CAMILO SANCHEZ VERDUGO		
Email	Farid.sanchez01@uptc.edu.co	Código	201710290
Cédula	1058431419	Teléfono	3202273550

DEL DIRECTOR

Nombre	RICARDO OCHOA DÍAZ	Teléfono	3138284131
Email	Ricardo.ochoa@uptc.edu.co		
Título de pregrado	Ingeniería en transporte y vías		
Nivel de posgrado	<input type="checkbox"/> Especialización <input type="checkbox"/> Maestría <input checked="" type="checkbox"/> Doctorado		
Si desea adicionar un Co-director, debe hacer clic en el signo + que aparece a la derecha de esta fila cuando hace clic aquí			

DEL CO-DIRECTOR

Nombre	YASMIN ANDREA PÉREZ ROJAS	Teléfono	+1 (204) 9622173
Email	Ing.yasminandrea@gmail.com		
Título de pregrado	Ingeniería en transporte y vías		
Nivel de posgrado	<input type="checkbox"/> Especialización <input type="checkbox"/> Maestría <input checked="" type="checkbox"/> Doctorado		
Si desea adicionar un Co-director, debe hacer clic en el signo + que aparece a la derecha de esta fila cuando hace clic aquí			

ESPACIO RESERVADO PARA EL COMITÉ CURRICULAR

Evaluada en la sesión	01	de fecha	10/02/2022
CONCEPTO	<input type="checkbox"/> Aprobada		<input type="checkbox"/> Rechazada
	<input type="checkbox"/> Aprobada con modificaciones		

Presidente del Comité Curricular	Nombre	
	Firma	

ESPACIO RESERVADO PARA EL REVISOR DE LA PROPUESTA

Nombre	MIGUEL ÁNGEL ROMERO FARFÁN
---------------	----------------------------

Asignada en sesión	No.	de fecha	Seleccione la fecha
---------------------------	------------	-----------------	----------------------------

OBSERVACIONES DEL REVISOR

Precisión en el planteamiento del problema

El problema planteado es preciso y apunta hacia una situación evidente en nuestro medio, en cuanto el aprovechamiento de residuos constructivos, en sustitución de agregados naturales.

Claridad, coherencia y consistencia de los objetivos

Los objetivos son claros y coherentes, además de ser alcanzables con el proyecto de investigación. Sin embargo, se sugiere plantear otro objetivo específico (uno adicional), encaminado hacia algún resultado cuantificable, teniendo en cuenta la importancia de la investigación y que será realizada por dos estudiantes.

Importancia y pertinencia del proyecto

El proyecto es importante y pertinente, como aporte investigativo formativo y como aplicación de los conocimientos académicos adquiridos por los estudiantes, en temas de pavimentos, suelos y materiales para ingeniería.

Sustentación conceptual y estado del arte

Si bien se presenta el MARCO TEÓRICO, este se debe subcapitular para mostrarlo desagregadamente. Así mismo, se debe profundizar en el ESTADO DEL ARTE. Es conveniente elaborar una tabla resumen, en donde se muestre: Autor, título de la investigación, objetivos perseguidos, resultados obtenidos y aporte de cada investigación a la presente investigación. Esto es muy importante, ya que es el aporte formativo de la investigación en curso.

Coherencia y pertinencia de la metodología

La METODOLOGÍA para la realización del diseño Marshall está bien desarrollada. Sin embargo, no se presenta la METODOLOGÍA GENERAL para el desarrollo del trabajo de investigación. Así mismo, en el PLAN DE TRABAJO se debe hacer aclaraciones, tal como se menciona.

Pertinencia de la bibliografía

La BIBLIOGRAFÍA es pertinente. Se sugiere COMPLEMENTAR la BIBLIOGRAFÍA, con papers y más investigaciones realizadas al respecto del tema.

En caso de ser aprobada con modificaciones, escriba aquí las modificaciones solicitadas

Se debe corregir la propuesta, en su forma, según las observaciones incluidas en los comentarios al margen derecho del texto, en cuanto a ortografía y puntuación, especialmente, así como otros aspectos de forma.

Adicionalmente, en cuanto el desarrollo investigativo, se sugiere tener en cuenta las siguientes modificaciones, según las observaciones incluidas en los comentarios al margen derecho del texto, en cuanto a:

1. Plantear un objetivo específico adicional, encaminado hacia algún resultado cuantificable, teniendo en cuenta la importancia de la investigación y que será realizada por dos estudiantes.
2. El MARCO TEÓRICO se debe subcapitular para mostrarlo desagregadamente. Así mismo, se debe profundizar en el ESTADO DEL ARTE. Es conveniente elaborar esta revisión en donde se muestre: Autor, título de la investigación, objetivos perseguidos, resultados obtenidos y aporte de cada investigación a la presente investigación. Esto es muy importante, ya que es el aporte formativo de la investigación en curso.
3. La METODOLOGÍA para la realización del diseño Marshall está bien desarrollada. Sin embargo, no se presenta la METODOLOGÍA GENERAL para el desarrollo del trabajo de investigación, la cual debe incluirse.
4. En el PLAN DE TRABAJO, aclarar que la labor del Director, NO causa pago adicional por parte de la UPTC y que los costos de los ensayos NO serán cancelados por los Autores de la investigación, ya que se realizarán el laboratorio de pavimentos de la UPTC.
5. Se sugiere COMPLEMENTAR la BIBLIOGRAFÍA, con papers y más investigaciones realizadas al respecto del tema.
- 6.

CONCEPTO	<input type="checkbox"/> Aprobada	<input type="checkbox"/> Rechazada
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobada con modificaciones	

PROPUESTA

1. PROBLEMA

En la actualidad la ingeniería debe hacer énfasis en desarrollar proyectos sostenibles garantizando la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras, bajo la premisa de que los recursos naturales son limitados. Sin embargo, se ha evidenciado en las últimas décadas la sobre explotación de agregados pétreos en la ejecución de estos proyectos y un impacto negativo en el medio ambiente una vez que estos terminan su vida útil.

La mayor afectación ambiental al entorno se genera en dos etapas puntuales de la ingeniería: la construcción y la demolición. En la primera, la afectación al medio ambiente se da por la extracción de agregados pétreos ya que este procedimiento implica la pérdida de capas vegetales, pérdida de las propiedades minerales del suelo y pérdidas de estabilidad en la zona de explotación. La segunda, se refiere a la inadecuada gestión de los materiales de construcción y demolición una vez terminada la vida útil de las estructuras.

Teniendo en cuenta que una mezcla asfáltica convencional se compone principalmente de agregados pétreos (90%-95% en peso y 75%-85% del volumen total de la mezcla) se plantea utilizar los residuos de construcción y demolición (RCD) como complemento del agregado grueso (sustitución parcial del agregado convencional) de una mezcla asfáltica en caliente (MDC-19) mitigando así el impacto generado por los residuos y disminuyendo el porcentaje de material explotado en las canteras. Investigaciones previas, han estudiado el comportamiento estructural de la mezcla, reemplazando parte del agregado natural con RCD arrojando resultados favorables.

Mediante el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, las características del ligante asfáltico y los ensayos de susceptibilidad al agua y ahuellamiento, se pretende analizar el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente con la sustitución parcial del agregado convencional en su fracción gruesa, teniendo en cuenta, los lineamientos expuestos en las especificaciones generales de construcción de carreteras propuestas por el Instituto Nacional De Vías. Con base en lo anterior, se planteará el porcentaje óptimo de material RCD para lograr el máximo desempeño de la mezcla asfáltica.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades de ahuellamiento y susceptibilidad al daño por humedad en mezclas asfálticas con residuos de construcción y demolición (RCD), con el fin de establecer su factibilidad de uso como complemento al agregado grueso.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico de cada una de las mezclas mediante la metodología Marshall.
- Determinar y comparar los resultados obtenidos de las características mecánicas, prueba de ahuellamiento y susceptibilidad al daño por humedad con el fin de establecer el comportamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).
- Definir el contenido óptimo de residuos de construcción y demolición (RCD) con el cual se alcanza el máximo desempeño de la mezcla.
- Analizar la composición del material RCD aprovechable para lograr una mezcla asfáltica con características funcionales.
- Determinar la factibilidad desde un punto de vista económico que tiene la inclusión del material RCD en una MDC-19.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Dada la disponibilidad de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Tunja del departamento de Boyacá y la problemática que estos presentan en cuanto a la inadecuada gestión, se plantea implementar el material RCD como complemento al agregado grueso presente en una mezcla asfáltica, estudiando las propiedades mecánicas con diferentes porcentajes de material RCD y presentando a partir de estos el porcentaje óptimo de asfalto.

El análisis de las propiedades mecánicas del material (dureza, durabilidad, limpieza, geometría, granulometría, adhesividad) y de la mezcla se realizará en sesiones de laboratorio con base en las disposiciones presentadas en las secciones 200 y 700 respectivamente de las normas de ensayos de laboratorio del Instituto Nacional De Vías. Posteriormente, se verificará el cumplimiento de los resultados obtenidos con las especificaciones generales de construcción de carreteras (INVIAS) y finalmente, se realizará el análisis de una mezcla base (mezcla convencional) para plantear una comparación objetiva e identificar el desempeño de las mezclas estudiadas (mezclas con agregados RCD).

4. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas el desarrollo de las urbes ha experimentado un crecimiento constante, acelerando el consumo de los recursos y la generación de residuos que ocasionan problemas

ambientales debido a su inadecuada gestión. Teniendo en cuenta que los recursos naturales son limitados se debe procurar la reutilización de los materiales generados en las diversas obras de ingeniería civil con el fin de mitigar la explotación del suelo y cumpliendo con los objetivos principales de la ingeniería de desarrollar proyectos durables, económicos y sostenibles que sean amigables con el medio ambiente garantizando la disponibilidad de recursos para las futuras generaciones.

La explotación de agregados pétreos en la construcción de infraestructura vial se da a gran escala generando destrucción en la capa vegetal, pérdida de los minerales del suelo e inestabilidad en la zona de explotación. Por esta razón, Investigaciones previas han estudiado la viabilidad de utilizar el material RCD en la elaboración de mezclas asfálticas arrojando resultados favorables. Sin embargo, no se ha planteado de forma clara la proporción óptima en la dosificación del material convencional y el material RCD con la cual se alcance el máximo desempeño de la mezcla demostrando así la importancia de la presente investigación.

5. MARCO TEÓRICO

En Colombia los residuos de construcción y demolición carecían de políticas y normativas para su adecuada gestión. Sin embargo, en el año 2017 mediante la resolución 0472, se plantea el manejo de estos materiales para mitigar los impactos ambientales generados e incentivar el desarrollo sostenible, garantizando el derecho que todas las personas tienen a gozar de un ambiente sano. Dentro de este manejo, se describe de manera detallada una serie de estrategias enfocadas en prevenir y reducir la producción de RCD, sin embargo, esto no es posible en todos los casos por lo cual plantea el procedimiento de selección, transporte y almacenamiento del material RCD con la intención de preservar las características óptimas del material, que le permitan ser reutilizado de acuerdo a sus propiedades. Los materiales que no resultan aptos para la reutilización dadas sus características se plantea el procedimiento para su disposición final.

5.1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO

La estructura de pavimento flexible está conformada por bases granulares (subbase y base) y carpeta asfáltica, las cuales deben resistir las cargas del tránsito y los efectos del intemperismo, su diseño se basa en la determinación del grosor de las capas en base a la capacidad portante de subrasante y las características del tránsito. Según Higuera. (2011) “La estructura debe contar con las siguientes características: ser resistente a la acción de cargas impuestas por el tránsito, ser resistente a los agentes del intemperismo, tener una textura adecuada para evitar el deslizamiento, ser resistente al desgaste, ser durable, tener adecuadas condiciones de drenaje, ser económico y tener color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos” (p. 15).

5.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS

La mezcla asfáltica es un compuesto de materiales bituminosos, agua, aditivos y agregados pétreos, los cuales deben cumplir con una granulometría óptima para garantizar una mezcla densa y así evitar problemas relacionados con la compactación y el desempeño. Los agregados pétreos corresponden al 90%-95% del peso y al 75%-85% del volumen total de la mezcla. Según Hernández et al. (2018). “Para elaborar una mezcla asfáltica existen dos procesos: frío y caliente; este último permite la incorporación de residuos, en donde los agregados se mezclan y se secan antes de ser calentados a 150 °C, después se añade el ligante (asfalto) a la mezcla en proporciones que oscilan de 5 a 10 %”. (p. 25). En Colombia, las mezclas asfálticas en caliente empleadas en la ejecución de los proyectos viales deben cumplir con los criterios establecidos en el capítulo 4 de las especificaciones generales de construcción de carreteras, los cuales se presentan en la tabla 1.

5.2.1. Caracterización y propiedades de los agregados

Debido a que los agregados conforman la mayor parte de la mezcla asfáltica, es importante analizar detalladamente sus propiedades físicas y mecánicas las cuales se identifican a partir de las normas de ensayos de laboratorio del instituto nacional de vías, sección 200. En primer lugar, se estudiará la dureza del agregado por medio de ensayos como: Desgaste máximo en la máquina de los ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, resistencia mecánica por el método del 10% de finos y el coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura. En segundo lugar, se estudiará la durabilidad del material mediante el ensayo de pérdida de solidez en sulfato de magnesio. En tercer lugar, se determinará la limpieza del material mediante los ensayos de impureza en el agregado grueso, índice de plasticidad, equivalente de arena y valor de azul de metileno. En cuarto lugar, se analizará la geometría de las partículas con los ensayos de caras fracturadas, angularidad de la fracción fina y partículas planas-alargadas. Finalmente, se estudiará la adhesividad del material granular (finos y gruesos).

La granulometría de los agregados pétreos debe garantizar un comportamiento mecánico óptimo de la estructura. Es por esto, que las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS plantean una serie de franjas granulométricas, dentro de las cuales puede variar el material en estudio dado que los agregados naturales no cuentan con una gradación ideal en todos los bancos de préstamo para los diferentes tipos de mezclas que con son considerados en la normativa. En Colombia, se tienen cuatro tipos de mezclas asfálticas en caliente (densa, semidensa, gruesa y de alto modulo), la cuales cuentan con una subdivisión en función del tamaño máximo nominal que presenta el material planteando así diferentes alternativas como se presenta en la tabla 2.

Tabla 1

Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación

CARACTERÍSTICA		NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO
			CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (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: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS 2013. Capítulo 4. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

Tabla 2

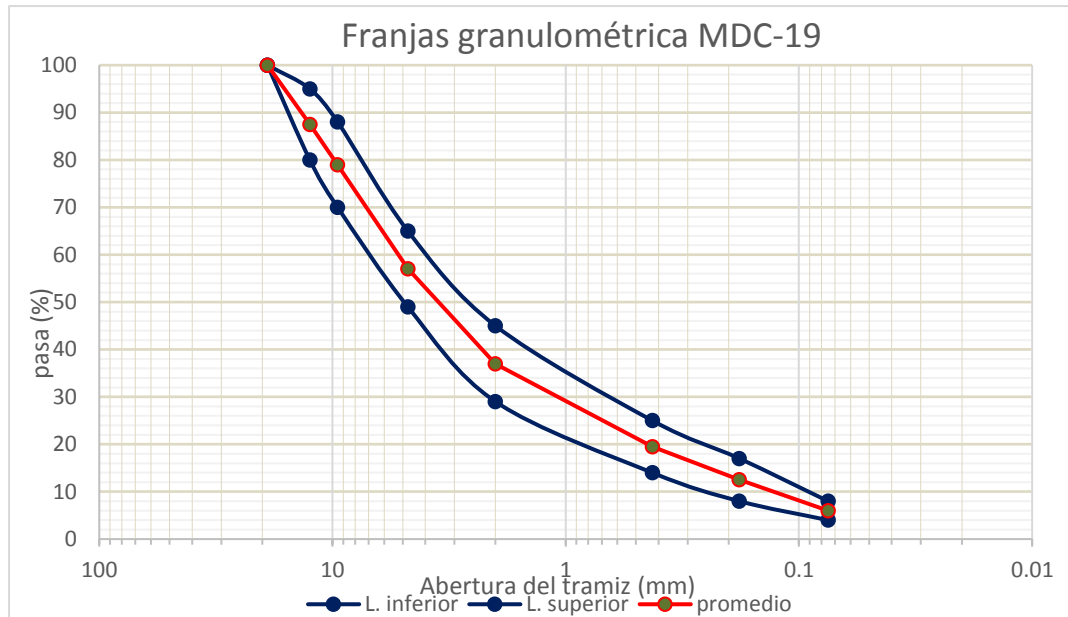
Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSE	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSE	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		-	4 %				3 %			2 %	

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS 2013. Capítulo 4. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

En la Figura 1 se presenta la franja granulométrica para una MDC-19 en la cual se muestran los límites y el promedio que representa la gradación ideal del material para una mezcla asfáltica. Sin embargo, en la práctica esto nunca se presenta por lo cual se procura obtener una gradación que se acerque a este con una tendencia similar.

Figura 1
Franjas granulométricas MDC-19



Fuente: Los autores.

5.3. ESTADO DEL ARTE

Diversas investigaciones, han estudiado la alternativa de reemplazar total o parcialmente el agregado natural que conforma la mezcla asfáltica, cumpliendo con las gradaciones presentadas en las franjas granulométricas mencionadas anteriormente con material obtenido de residuos de construcción y demolición (RCD) de las diferentes obras civiles. Espino et al. (2019) Elaboraron dos mezclas asfálticas en caliente en las cuales reemplazaron parcialmente el agregado pétreo con un 10% y 20% de material RCD respectivamente y lo compararon con una mezcla asfáltica convencional donde encontraron que a mayor porcentaje de material RCD se presenta un menor peso específico y que a nivel de fluencia se presenta un comportamiento similar en las tres mezclas analizadas (pp. 3-7).

Para el diseño de mezclas asfálticas se implementa la metodología Marshall en la mayoría de los casos ya que esta permite obtener la fórmula de trabajo. Martínez y Castro. (2017) Estudiaron el comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente de gradación continua para un nivel de tránsito tres con la implementación de material RCD como complemento de

agregado pétreo mediante la metodología Marshall, partiendo de que el porcentaje de asfalto tendría una variación de 4.5% al 6%. En este se encontró, que las briquetas analizadas no cumplían con el criterio de estabilidad y flujo. Del mismo modo se concluyó, que los agregados RCD no cumplen con las propiedades físicas y mecánicas según lo estipulado por el INVIAS.

Algunas desventajas en la implementación de los materiales RCD en la elaboración de mezclas asfálticas es la pérdida en la adhesividad del material granular dada la presencia de mortero en las partículas. Pérez et al. (2009) Estudio el comportamiento de las mezclas asfálticas dosificadas con material RCD en carreteras de bajo tráfico mediante nueve mezclas asfálticas divididas en 3 grupos. En el primer grupo se reemplazó parte de la fracción gruesa del agregado por 0%, 20%, 40% y 60% de material RCD. En el segundo grupo se reemplazó parcialmente el material convencional con un 20% y 40% de material RCD después de ser sometido a abrasión en la máquina de los ángeles y en el tercer grupo de mezclas se utilizó árido natural calizo con 0%, 20%, 40% de material RCD. En esta investigación, se evidencio una mala adhesividad del material RCD dada la presencia de mortero, de igual manera se encontró un aumento de la rigidez de la mezcla cuando presenta material RCD.

Otras investigaciones se han enfocado en estudio del comportamiento estructural de la mezcla asfáltica y no solo de las propiedades de los agregados que la conforman. Ramírez y Pasaje. (2019) Trabajaron con tres mezclas asfálticas en caliente, la primera elaborada con materiales convencionales, la segunda se elaboró reemplazado el 100% del agregado convencional con material RCD y en la tercera se reemplazó el 100% del agregado grueso por material RCD. A las tres briquetas ensayadas, se les determino la resistencia a la tracción indirecta y el módulo resiliente mediante la aplicación de cargas monotónicas y dinámicas. Los resultados obtenidos, son favorables para la implementación del material RCD en la fracción gruesa del agregado pétreo que conforma la mezcla asfáltica.

Por otro lado, algunos autores han dedicado mayor esfuerzo en analizar el comportamiento de la mezcla asfáltica y no tanto de las propiedades de los materiales. Ossa y García. (2014) Analizaron el desempeño de la mezcla asfáltica con la incorporación de material RCD en proporciones 100-0, 90-10, 80-20, 70-30 y 60-40. A partir del daño por humedad presentado y la deformación permanente experimentados por la mezcla, se determinó una viabilidad en cuanto a la implementación del material RCD como sustitución parcial de los agregados convencionales.

Aunque es habitual reemplazar la fracción gruesa del material convencional con material RCD en el área de la investigación, también es posible utilizar este material como complemento del agregado fino dada su versatilidad, sin embargo, Batidas et al. (2021). Encontraron una disminución considerable en la resistencia de la mezcla bajo la acción de cargas monotónicas. Por lo tanto, no recomiendan su implementación en la parte fina de la curva granulométrica. La implementación de los materiales RCD mejora algunas características de la mezcla la naturaleza propia de los residuos de construcción y demolición influyen directamente en el

comportamiento de la mezcla asfáltica, Acosta et al. (2017) Estudiaron el desempeño de una mezcla asfáltica en caliente al sustituir parcialmente el agregado convencional a lo largo de toda la franja granulométrica con material RCD (probetas de concreto hidráulico), identificaron que propiedades como durabilidad y vacíos de la mezcla mejoran considerablemente, sin embargo se observó una disminución en la densidad de la misma.

En la tabla 3 se presenta a manera de resumen las investigaciones realizadas en el tema de interés mencionadas anteriormente junto con los aportes que serán tenidos en cuenta.

Tabla 3.
Revisión bibliográfica

N°	AUTOR	TITULO	OBJETIVO	RESULTADOS	APORTES
1	Perez I, Rodríguez A, Gallego J	Mezclas asfálticas dosificadas con RCD para carreteras de bajo tráfico	Estudiar la factibilidad de implementación de material RCD para carreteras de bajo tráfico mediante nueve mezclas asfálticas	Mala adhesividad de material RCD dada la presencia de mortero, de igual manera un aumento en la rigidez de la mezclas.	Noción del rango de material RCD a sustituir en una mezcla asfáltica en caliente y descartar el mortero como material útil.
2	Espino C, Lara C, Trujillo I, Tafolla E, Nuñez E.	Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición (concreto hidráulico) en un 10% y 20% como sustitución de agregado pétreo natural	El objetivo de la investigación es la sustitución de agregados pétreos naturales por agregados de concreto reciclados lo que nos lleva a un ahorro ambiental y económico.	Mayor porcentaje de material RCD menor peso específico y a nivel de fluencia presentan un comportamiento similar las tres mezclas	Noción del rango de material RCD (cuando se utiliza solo concreto hidráulico) a sustituir en una mezcla asfáltica en caliente.
3	Pasaje A, Ramirez L.	Aplicación de agregados reciclados de construcción y demolición de en una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19	Analizar el comportamiento estructural de la mezcla asfáltica con el reemplazo parcial y total del material convencional por RCD.	Variación importante de los módulos dependiendo de las características del material RCD utilizado y su viabilidad en cuanto a la implementación en vías de bajas velocidades.	Viabilidad en la implementación del material RCD en la fracción gruesa del agregado petreo para vías de bajo tránsito y materiales RCD aprovechables durante la investigación
4	Martinez J, Castro R.	Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente	Diseñar una mezcla asfáltica densa en caliente incorporando agregado artificial proveniente de los residuos de construcción y demolición RCD, con las especificaciones de una capa de rodadura y un nivel de tránsito tres	Las briquetas no cumplen con el criterio de estabilidad y flujo y el material RCD no cumple con las especificaciones físicas y mecánicas estipuladas por el INVIAS para un nivel de tránsito 3.	Descartar el uso del material RCD para vías con un nivel de tránsito alto y estudiar su factibilidad de implementación en los niveles de tránsito medios y bajos.
5	Ossa A, García J.	Residuos de construcción y demolición (RCD), una alternativa para la construcción de carpetas asfálticas	El objetivo es utilizar residuos de construcción y demolición como complemento de los agregados pétreos en la elaboración de mezclas asfálticas, las cuales pueden ser utilizadas en la construcción de carpetas asfálticas de vialidades urbanas.	La incorporación de los agregados reciclados RCD en la elaboración de mezclas asfálticas es viable desde el punto de vista del daño por humedad y la deformación permanente.	Noción del rango de material RCD a sustituir en una mezcla asfáltica en caliente.
6	Bastias J, Rondón H, Contreras L, Forero S, Rojas L.	Evaluación de una mezcla de concreto asfáltico con incorporación de agregados reciclados de concreto.	Evaluar el comportamiento mecánico que puede experimentar una mezcla tipo MDC-19 cuando se sustituye la fracción gruesa, fina y la totalidad de un agregado convencional con un RCD.	Los materiales RCD cumple con los requisitos establecidos por las especificaciones del INVIAS a excepción de la solides en el sulfato de sodio y es mas factible sustituir la fracción gruesa que la fracción fina o la totalidad de los agregados convencionales a partir del comportamiento experimentado bajo la acción de cargas monotónicas.	Factibilidad de la implementación de los agregados RCD en la fracción gruesa del agregado convencional
7	Acosta D, Moll R, Gonzales G.	Influencia de la utilización del RCD como árido en mezclas asfálticas en caliente	Analizar la viabilidad de la sustitución del agregado convencional con material RCD provenientes de probetas de concreto hidráulico en una mezcla asfáltica	La sustitución del agregado convencional con RCD en la fracción gruesa mejora la durabilidad, disminuye la densidad de la mezcla e influye positivamente en propiedades de huecos en los áridos y huecos en la mezcla	Factibilidad de la implementación de los agregados RCD en la fracción gruesa del agregado convencional

Fuente: Los autores.

6. METODOLOGÍA PROPUESTA

En la tabla 4 se presenta la metodología de la investigación, en esta se presenta de manera general las actividades, como, donde y quien las realizará.

Tabla 4.
Metodología

	Actividades	Forma de trabajo	Lugar	Actores
Fase I	Adquisición de agregado convencional.	Selección de fuente, recolección y transporte de los materiales a las instalaciones de la UPTC.	Triturados Paz del Rio-Boyacá.	Tesisistas.
	Adquisición de agregado RCD.		Tunja- Boyacá.	
	Adquisición de ligante asfáltico.		Mpibitumenes Barrancabermeja-Santander.	
Fase II	Procesamiento de los agregados RCD.	Trituración manual.	UPTC.	Tesisistas.
Fase III	Caracterización de los materiales (agregado convencional, agregado RCD y ligante asfáltico).	Ensayo de laboratorio de acuerdo a las especificaciones del instituto Nacional de Vías.	Laboratorio de materiales y pavimentos, UPTC.	Tesisistas y Director.
Fase IV	Diseño Marshall.	Ensayo de laboratorio de acuerdo a las especificaciones del instituto Nacional de Vías.	Laboratorio de materiales y pavimentos, UPTC.	Tesisistas y Director.
Fase V	Verificación del Marshall.	Ensayo de laboratorio de acuerdo a las especificaciones del instituto Nacional de Vías.	Laboratorio de materiales y pavimentos, UPTC.	Tesisistas y Director.

Fuente: Los autores

A continuación, se describe la metodología concerniente a los procedimientos técnicos a realizar.

Para el diseño de mezclas asfálticas generalmente se utiliza la metodología Marshall, como se describe a continuación, esta permite obtener la fórmula de trabajo mediante la cual se garantiza un buen desempeño de la estructura. Para la implementación de la metodología es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Como se ha mencionado a lo largo del planteamiento de la investigación, los materiales granulares que conforman la estructura deben cumplir con la granulometría expuesta en la tabla 2, figura 1.

El objetivo de la investigación es reemplazar parte de la fracción gruesa del material convencional con RCD, por lo tanto, es necesario plantear los porcentajes de material RCD a utilizar en la mezcla a partir de la revisión teórica realizada. A continuación, en la tabla 5 se presentan la dosificación a emplear en las diferentes mezclas MDC-19.

Tabla 5.

Dosificación material convencional-RCD en la fracción gruesas de las mezclas asfáltica

100% DE AGREGADOS			
Mezclas	Fracción Fina (Material convencional)	Fracción Gruesa	
		Material convencional	RCD
M-1	100%	100%	0%
M-2	100%	90%	10%
M-3	100%	80%	20%
M-4	100%	70%	30%

Fuente: Los autores.

6.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS AGREGADOS

Además de la franja granulométrica los materiales que conforman la mezcla asfáltica deben cumplir con algunas propiedades físicas y mecánicas exigidas en las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS, como se presenta en la Tabla 6.

- Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de Los Ángeles INV E-218-13: Mediante este ensayo se estudia el comportamiento de una muestra de agregados pétreos cuando esta es sometida a ciertas acciones como lo son la abrasión, el impacto y la molienda mediante el uso de la maquina los ángeles, la cual consta de un tambor rotatorio con una serie de esferas y pestañas que arrastran el material provocando un efecto de trituración dada la caída del mismo. El ensayo se debe realizar a 500 y 100 rpm.
- Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato MICRO DEVAL INV E-238-13: Mediante este ensayo se cuantifica la resistencia a la abrasión y la duración de los agregados en presencia de agua. El aparato utilizado se denomina MICRO DEVAL el cual consta de un recipiente de acero de 20 cm de diámetro y de 5000 gramos de esferas de acero de 9.5 cm de diámetro, adicionalmente, requiere de 2 litros de agua. El procedimiento a seguir es depositar el agregado en el recipiente y aplicarle 100 rpm durante un periodo de tiempo de 2 horas. Posteriormente, se lava y se seca la muestra para determinar la cantidad de material perdido (Tamiz N°16) expresado como porcentaje de la masa seca de la muestra inicial.
- Determinación del valor del 10% de finos INV E-224-13: Se desarrolla para determinar la resistencia mecánica de un agregado grueso al ser sometido a una compresión que causa la trituración del material y produce un 10% de grano fino de la muestra, en este ensayo se utiliza un cilindro metálico en el cual se debe compactar la muestra mediante la aplicación

de golpes con la ayuda de una varilla, para evaluar la fragmentación se utiliza el tamiz N°8 después de realizada la prueba. Finalmente, se recomienda realizar el procedimiento a diferentes cargas de compresión con el fin de establecer la carga con la que se logra el 10% de finos.

- Solidez de los agregados frente a la acción de solución de sulfato de sodio o de magnesio INV E-220-13: Mediante el ensayo se cuantifica el daño que sufre el material ante agentes atmosféricos a partir de la inmersión del material en sulfatos de sodio o de magnesio. Este ensayo se debe realizar siempre que no se tengan datos sobre el comportamiento del material en las condiciones climatológicas reales del servicio.
- Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregados grueso INV 2-237-13: Este método permite separar las impurezas (partículas menores a 0.5 mm) adheridas al agregado grueso mediante el lavado en un tamiz de referencia. Con este procedimiento se puede determinar el coeficiente de limpieza superficial con la diferencia entre la masa inicial y la masa final.
- Determinación del límite líquido de los suelos INV E-124: Este método se realiza con material pasa N° 40 y permite determinar el porcentaje de agua necesario para cambiar del estado líquido a plástico. Para realizar el ensayo se emplea la cazuela de casa grande, en la cual se deposita el material y se divide en dos partes iguales para que este fluya de manera proporcional a los 25 golpes. Ya que es difícil que la ranura realizada se junte exactamente a 13 mm a 25 golpes se realiza el procedimiento con diferentes porcentajes de agua en la muestra y se determina el límite plástico mediante una regresión logarítmica.
- Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E-126-13: Mediante este ensayo se determina el contenido de agua requerido para pasar del estado plástico al estado semisólido, el ensayo consiste en realizar rollos con el material de 3.2 mm de diámetro hasta lograr el agrietamiento de los mismos, posteriormente se determina la humedad más baja con la cual se pueden realizar los rollos (límite plástico).

El índice de plasticidad se determina mediante una relación aritmética entre el límite líquido y el límite plástico.

- Equivalente de arena de suelos y agregados finos INV E-133-13: Para la realización del ensayo se utiliza un cilindro estandarizado en el cual se deposita el material a evaluar y una solución floculante, posteriormente se agita y se deja reposar para que ocurra el proceso de sedimentación. Finalmente, se determina el equivalente de arena mediante una relación de las lecturas de las arenas y las arcillas.

- Valor de azul de metileno en agregados finos INV E-235: En este ensayo se determina la cantidad de azul de metileno absorbido por una muestra, posteriormente se expresa en gramos la solución absorbida por kilogramo de la muestra ensayada.
- Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos INV E-240-13: En este ensayo se mide cada partícula del agregado y se determina la relación ancho- espesor, ancho-largo o largo-espesor.
- Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso INV E 227-13: Con este ensayo se evalúa la fricción entre partículas del agregado. El procedimiento consiste en identificar partícula a partícula si cumple o no con el criterio de fractura y de la misma manera cuantas de sus caras presentan esta condición.
- Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría) INV E-239-13: Mediante el ensayo es posible conocer la angulosidad, esfericidad y la textura superficial de los agregados. Para su desarrollo se utiliza una muestra con gradaciones estándar empleando el método de prueba A en el cual se combinan fracciones mediante un tamizado del agregado fino.

Tabla 6.

Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continúa

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRÁNSITO		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)				
- Capa de: rodadura / intermedia / base, 500 revoluciones	E-218	25/35/-	25/35/35	25 / 35 / 35
- Capa de: rodadura / intermedia / base, 100 revoluciones		5/7/-	5/7/7	5/7/7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238			
- Capa de: rodadura / intermedia / base			25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de: rodadura / intermedia / base	E-224			
- Valor en seco, mínimo (kN)				110/90/75
- Relación húmedo/seco, mínima (%)				75/75/75
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	0.45	0.45	0.45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)	E-220	18	18	18
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0.5	0.5	0.5
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%)				
- Una cara: rodadura / intermedia / base	E-227	75/60/-	75/75/60	85/75/60
- Dos caras: rodadura / intermedia / base		-/-/-	60/-/-	70/-/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35
- Capa de: rodadura / intermedia / base				

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS 2013. Capítulo 4. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

6.2. PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Otro aspecto que se debe evaluar para dar cumplimiento a las especificaciones del INVIAS, son las propiedades del material bituminoso. A continuación, en la tabla 7 se presentan y se describen los ensayos que se realizarán:

Tabla 7.
Especificaciones del cemento asfáltico

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN					
		40-50		60-70		80-100	
		MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
Asfalto original							
Penetración (25° C, 100 g, 5 s), 0.1 mm	E-706	40	50	60	70	80	100
Punto de ablandamiento, °C	E-712	52	58	48	54	45	52
Índice de penetración	E-724	-1.2	+0.6	-1.2	+0.6	-1.2	+0.6
Viscosidad absoluta (60° C), P	E-716 o E-717	200	-	150	-	100	-
		0		0		0	
Ductilidad (25° C, 5 cm/min), cm	E-702	80	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	99	-	99	-	99	-
Contenido de agua, %	E-704	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland, °C	E-709	240	-	230	-	230	-
Contenido de parafinas, %	E-718	-	3	-	3	-	3

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS 2013. Capítulo 4. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

- Penetración de los materiales bituminosos INV E-706-13: Permite determinar la consistencia del asfalto mediante el penetrómetro de agua normalizada bajo las condiciones especificadas.
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) INV E 712-13: Mediante este ensayo se determina el punto de ablandamiento en un intervalo de 30 a 150°C. El ensayo consiste en llenar dos anillos con asfalto, colocarles una esfera de acero sobre estos y calentarlos, el punto de ablandamiento será el valor medio de la temperatura requerida para que cada esfera caiga a una distancia de 25 mm (1").
- Índice de penetración de los cementos asfálticos INV E-724-13: El índice de penetración se determina con base en el ensayo de temperatura de punto de ablandamiento del cemento y bajo el supuesto de que la representación gráfica entre penetración (escala logarítmica) en función de la temperatura conforma una línea recta.
- Determinación de la viscosidad del asfalto utilizando viscosímetros rotacionales INV E-717-13: En este ensayo se determina la viscosidad de un bitumen a diferentes temperaturas con

el fin de obtener la temperatura de compactación y la temperatura de mezclado mediante la curva reológica del material.

- Ductilidad de los materiales asfálticos INV E-702-13: En este ensayo se determina la ductilidad que presenta una probeta de asfalto de dimensiones estandarizadas al someterse a una fuerza de tracción con una velocidad de 50 ± 2.5 mm/min y a una temperatura 25 ± 5 °C.
- Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno INV E-713-13: Este ensayo consiste en pesar el material insoluble, lavado y seco después de ser disuelto en tricloroetileno y filtrado a través de una almohadilla de fibra de vidrio.
- Punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta Cleveland INV E-709-13: Este ensayo es aplicable a aquellos materiales bituminosos que tienen un punto de inflamación entre 69 y 400°C. El ensayo consiste en llenar la copa de Cleveland con material ligante y calentarla hasta aproximadamente su punto de inflamación, posteriormente, se pasa una llama en intervalos definidos y la temperatura más baja a la cual se produzca llama en los gases de la muestra se toma como punto de inflamación. Para determinar el punto de combustión se continúa con la aplicación de la llama hasta que el espécimen arda por lo menos por 5 segundos.

6.3. DISEÑO DE LA MEZCLA (METODOLOGÍA MARSHALL)

Diseñar una mezcla asfáltica, consiste en definir una fórmula de trabajo en la cual se especifiquen las proporciones en que se deben mezclar los agregados y el ligante de asfalto, es decir, que porcentaje se debe emplear de grava, arena y finos (filler). Las mezclas realizadas mediante la metodología Marshall debe cumplir con 8 variables para ajustarse a los requerimientos de las especificaciones de construcción de carreteras del INVIAS, como los son:

- Estabilidad y resistencia mecánica.
- Deformación o flujo, densidad de la mezcla compacta (peso específico bulk).
- Porcentaje de vacíos en la mezcla.
- Porcentaje de vacíos en los agregados minerales (porosidad).
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (saturación).
- Relación de polvo R.P. (llenante/ligante) y relación estabilidad/flujo.

Cada una de las propiedades mencionadas anteriormente se rige por una norma de ensayo de laboratorio como se presenta en la tabla 1 y se describen a continuación.

- Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes recubiertos con una película de parafina INV E 734-13: Este ensayo se aplica a mezclas asfálticas que contienen vacíos interconectados o que absorben más del 2% de agua respecto al volumen compacto, para obtener el valor numérico se emplea el principio de Arquímedes bajo las condiciones especificadas.
- Gravedad específica máxima en mezclas asfálticas para pavimentos INV E-735-13: Mediante este ensayo se determina la gravedad específica de la mezcla asfáltica, el cual consisten en introducir mezcla seca suelta en un frasco, llenarlo con agua hasta la marca de aforo, sacarle los vacíos, dejarlo reposar, aumentar la temperatura mediante baño maría y registrar las medidas de temperatura y masa correspondientes.
- Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall INV E-748-13: Para este ensayo se fabrican probetas cilíndricas de dimensiones estandarizadas a las cuales se les realiza un curado y son montadas en la prensa Marshall para la determinación de su estabilidad y su deformación.
- Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente INV E-799-13: Mediante esta norma se pueden determinar las relaciones volumétricas de la mezcla como: Porcentaje de volumen de vacíos con aire (V_a), porcentaje de volumen de vacíos en el agregado mineral (VAM), Vacíos llenos de asfalto (VFA), Volumen efectivo de ligante asfáltico (V_{be}), Contenido de asfalto efectivo (P_{be}) y relación de polvo o relación llenante ligante.

Posteriormente se debe realizar una verificación del diseño de la mezcla en la cual se evalúan las propiedades de susceptibilidad al agua y ahuellamiento como se presentan en la tabla 8.

- Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta INV E- 725-13: Este ensayo permite determinar el daño potencial por humedad en mezclas asfálticas, la metodología consiste en realizar especímenes que cuenten con contenidos de vacíos entre 6 y 8%, estos se dividen en dos grupos dependiendo del porcentaje de vacíos que presenten y a su vez se dividirán los grupos en pequeños subgrupos para ensayar especímenes secos y húmedos. Posteriormente, se realiza la prueba de tracción indirecta a cada espécimen y se determina el daño por humedad mediante una relación entre cada par de especímenes de los dos subgrupos.
- Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio INV E 756-13: Esta metodología puede ser aplicada tanto en muestra desarrolladas en laboratorio como en muestras testigos. En este ensayo se somete la muestra de dimensiones estandarizadas al paso de una rueda a bajo condiciones

establecidas con el fin de registrar las deformaciones de la muestra en los intervalos de tiempo propuestos.

Tabla 8.
Verificación del diseño Marshall.

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR	APLICABILIDAD
Adherencia: Resistencia retenida, % mínimo	E-725	80	Todas las mezclas
Resistencia a la deformación plástica: velocidad máxima de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, $\mu\text{m}/\text{min}$.	E-756	15	- Tránsito NT3: para capas de rodadura e intermedia
- Temperatura media anual del aire $> 24^{\circ}\text{C}$ - Temperatura media anual del aire $\leq 24^{\circ}\text{C}$		20	- Mezclas de alto módulo
Módulo resiliente, MPa - Mezclas de alto módulo compactadas con 75 golpes por cara, valor mínimo a 20°C - Otras mezclas	E-749	10,000 (Nota 1)	- Mezclas de alto módulo - Opcional para otras mezclas, según documentos del proyecto
Leyes de fatiga - Mezclas de alto módulo: ensayo a 20°C y 30 Hz, ϵ_s mínimo ($\mu\text{m}/\text{m}$) - Otras mezclas	E-808 E-784 E-808	100 (Nota 1)	- Obligatorio para mezclas de alto módulo - Opcional para otras mezclas, según documentos del proyecto

Fuente: Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS 2013. Capítulo 4. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

7. PLAN DE TRABAJO

Con base en la metodología planteada en el numeral 6, se presenta en la tabla 9 el cronograma de actividades mediante el cual se desarrollará la presente investigación.

Tabla 9.
Cronograma de actividades

CONOGRAMA DE ACTIVIDADES DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON IMPLEMENTACIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN COMO COMPLEMENTO DEL AGREGADO GRUESO																
ACTIVIDADES	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Conseguir y procesar materiales (Agregados convencionales, Asfalto y RCD).																
Caracterización de los agregados convencionales y RCD.																
Resumen y análisis de los resultados de caracterización de agregados.																
Caracterización del ligante asfáltico.																
Resumen y análisis de los resultados de caracterización del ligante.																
Diseño de las mezclas asfálticas (diseño Marshall).																
Ensayo de susceptibilidad al agua y ahueamiento.																
Resumen y análisis de los resultados de diseño Marshall.																
Informe final.																

Fuente: Los autores.

En el numeral 6 y la tabla 9 se establecen las actividades que se desarrollarán junto con sus tiempos de ejecución. Del mismo modo, en la tabla 10 se presentan los costos en que se incurren con el desarrollo de la presente investigación.

Para los costos del proyecto se consideran dos fuentes de financiación; la primera, es la Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia la cual asume los costos de los numerales 1, 3, 4, 5 y 6 (asociados con ensayos de laboratorio y reconocimiento de las labores del director de trabajo, cabe resaltar que la labor del director de la investigación no causara pago adicional por parte de la universidad y los ensayo realizados no serán cancelados monetariamente dado que se hará uso de los laboratorios de materiales y pavimentos de la institución) y la segunda, corresponde a los tesisistas los cuales asumen los costos del numeral 2 presentados en el presupuesto.

El valor total de la investigación es de **SETENTA Y SIETE MILLONES QUINIENTOS OCHENTA Y SIETE MIL DOCIENTOS OCHENTA PESOS (\$77'587.280.00)**.



Tabla 10.
Presupuesto

DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON IMPLEMENTACIÓN DE RESIDUOS DE DEMOLICIÓN COMO COMPLEMENTO DEL AGREGADO GRUESO						
PRESUPUESTO						
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Rendimiento	Valor parcial
1	Recurso humano					\$ 12,170,468
1.1	Director de tesis (incluye prestaciones, FM=1.27).	Mes	4	\$ 6,085,234.21	50%	\$ 12,170,468
2	Materiales					\$ 170,782
2.1	Agregados convencionales.	m³	1	\$ 46,856	1.1	\$ 51,542
2.2	Residuos de construcción y demolición RCD.	m³	1	\$ 10,000	1.1	\$ 11,000
2.3	Ligante asfáltico.	gal	8	\$ 12,300	1.1	\$ 108,240
3	Ensayos de laboratorio de caracterización de agregados					\$ 3,212,056
3.1	Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2”) por medio de la máquina de los ángeles INV E-218-13.	glb	4.00	\$ 166,667	1	\$ 666,667
3.2	Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato MICRO DEVAL INV E-238-13.	glb	4.00	\$ 196,350	1	\$ 785,400
3.3	Determinación del valor del 10% de finos INV E-224-13.	glb	1.00	\$ 255,850	1	\$ 255,850
3.5	Solidez de los agregados frente a la acción de solución de sulfato de sodio o de magnesio INV E-220-13.	glb	4.00	\$ 103,333	1	\$ 413,333
3.6	Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregados grueso INV 2-237-13.	glb	2.00	\$ 63,070	1	\$ 126,140
3.7	Determinación de los límites de Attemberg (límite líquido y límite plástico) INV E-124 - INV E-126-13.	glb	2.00	\$ 76,667	1	\$ 153,333
3.8	Equivalente de arena de suelos y agregados finos INV E-133-13.	glb	2.00	\$ 80,000	1	\$ 160,000
3.9	Valor de azul de metileno en agregados finos INV E-235.	glb	1.00	\$ 98,000	1	\$ 98,000
3.10	Proporción de partículas planas, alargadas o planas y alargadas en agregados gruesos INV E-240-13.	glb	2.00	\$ 166,667	1	\$ 333,333
3.11	Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso INV E 227-13.	glb	2.00	\$ 110,000	1	\$ 220,000
4	Ensayos de laboratorio de caracterización del ligante asfáltico					\$ 949,873
4.1	Penetración de los materiales bituminosos INV E-706-13.	glb	1.00	\$ 66,667	1	\$ 66,667
4.2	Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) INV E 712-13	glb	1.00	\$ 103,000	1	\$ 103,000
4.3	Índice de penetración de los cementos asfálticos INV E-724-13.	glb	1.00	\$ 66,667	1	\$ 66,667
4.4	Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional INV E-717-13.	glb	1.00	\$ 116,667	1	\$ 116,667
4.5	Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos INV E-	glb	1.00	\$ 100,000	1	\$ 100,000
4.6	Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno INV E-713-13.	glb	1.00	\$ 380,205	1	\$ 380,205
4.7	Punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta Cleveland INV E-709-13.	glb	1.00	\$ 116,667	1	\$ 116,667
5	Ensayo Marshall					\$ 26,666,667
5.1	Ensayo Marshall, incluye los ensayos: Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes recubiertos con una película de parafina INV E 734-13. Gravedad específica máxima en mezclas asfálticas para pavimentos INV E-735-13. Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall INV E-748-13. Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente INV E-799-13.	glb	4.00	\$ 1,666,667	4	\$ 26,666,667
6	Verificación ensayos Marshall					\$ 24,000,000
6.1	Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta INV E- 725-13.	glb	4.00	\$ 666,667	4	\$ 10,666,667
6.2	Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio INV E 756-13.	glb	4.00	\$ 833,333	4	\$ 13,333,333
Total costos						\$ 67,169,846
			IVA (ensayos)	19%		\$10,417,433
			Subtotal ensayos de laboratorio + iva		\$65,246,029	
Valor total						\$77,587,280

Fuente: Los autores.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta D, Moll R, Gonzales G. (2007). Influencia de la utilización del RCD como árido en mezclas asfálticas en caliente. Revista de Arquitectura e Ingeniería, Vol. 11.

Bastias J, Rondón H, Contreras L, Forero S, Rojas L. (2021). Evaluación de una mezcla de concreto asfáltico con incorporación de agregados reciclados de concreto. Revista UIS Ingenierías. Vol. 20.

Espino, C. Lara, C. Trujillo, I. Tafolla, E. Núñez A. (2019). Elaboración de mezclas asfálticas en caliente con adición de residuos de construcción y demolición (concreto hidráulico) en un 10% y 20% como sustitución de agregado pétreo natural. Morelia, Michuacan, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Hernández, L. Jiménez, K. Domínguez, V & Adams, R. (2017). Mezclas Asfálticas: Una Alternativa Para El Tratamiento De Residuos. <http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/2555/1963>.

Higuera, C. (2011). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Tunja, Boyacá, Colombia: Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.

INVIAS. Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras. Capítulo 4. Bogotá D.C. Colombia.

INVIAS. Instituto Nacional de Vías. (2013). Normas de ensayo de materiales. Sección 100, Sección 200, Sección 700, Sección 800 Bogotá D.C. Colombia.

Martínez, A. Castro, R. (2017). Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad distrital francisco José de caldas.

Ossa A, Garcia J. (2014). Residuos de construcción y demolición (RCD), una alternativa para la construcción de carpetas asfálticas. XXVII reunión nacional de mercancía de suelo, puerto Vallarta, Jalisco.

Pérez, I. Pasadin, A. Gallego, J. (2009). Mezclas asfálticas dosificadas con RCD para carreteras de bajo tráfico. Ingeopres.

Ramírez, L. Pasaje, A. (2019). Aplicación de agregados reciclados de construcción y demolición de en una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad Católica de Colombia.