

**MONOGRAFIA DEL USO DE RAP (PAVIMENTOS ASFALTICO
RECICLADOS) PARA LA REHABILITACIÓN DE VIAS URBANAS DEL
MUNICIPIO DE GIRARDOT - CUNDINAMARCA”**



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de Calidad al alcance de todos
Sede Cundinamarca
*Centro Regional
Girardot*

MARILY MONROY LINAREZ

JHON FREDY LEÓN GALLEGO

MILLER ANDRÉS RAMOS CÁRDENAS

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
CENTRO REGIONAL GIRARDOT**

**FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT**

2020

**MONOGRAFIA DEL USO DE RAP (PAVIMENTOS ASFALTICO
RECICLADOS) PARA LA REHABILITACIÓN DE VIAS URBANAS DEL
MUNICIPIO DE GIRARDOT - CUNDINAMARCA”**



MARILY MONROY LINAREZ ID. 540002

JHON FREDY LEÓN GALLEGO ID. 360866

MILLER ANDRÉS RAMOS CÁRDENAS ID. 539130

Director de opción de Grado

LEANDRO ALBERTO VELASQUEZ SALGUERO

Ingeniero Civil

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
CENTRO REGIONAL GIRARDOT**

**FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT**

2020

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto de tesis de grado a Dios, a nuestros padres y demás familiares que contribuyeron con nuestra formación personal y académica. A la institución universitaria UNIMINUTO que permite a los jóvenes de la región alcanzar el proceso de formación como profesionales en aras de contribuir en el desarrollo regional. Al grupo de docentes y demás comunidad académica que hicieron parte en el proceso de formación integral como profesionales.

RESUMEN

El Pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) es un término empleado a materiales reutilizados de capas asfálticas que luego de ser fresados o demolidos son optimizados con nuevos materiales de asfalto y agregado. El RAP se obtiene de procesos de demolición de las carpetas asfálticas en servicio y son empleados en actividades de reconstrucción o rehabilitación de estructuras de pavimento. Este material RAP cuando es triturado y tamizado adecuadamente luego de acuerdo a una fórmula de trabajo es mezclado con asfalto y agregados se obtiene mezclas asfálticas. En la actualidad es ampliamente conocido las ventajas del empleo de materiales producto del reciclado de pavimentos en la construcción o rehabilitación de vías; pero la realidad es que la utilización de RAP en proyectos viales en América Latina es bajo; y en nuestro país se encuentra reglamentado por las especificaciones técnicas generales de carreteras (NORMAS INVIAS), pero su empleo en proyectos viales también es bajo.

Con la elaboración del documento se aborda el cumplimiento de las especificaciones generales de Carreteras establecidas por el INVIAS por los materiales empleados en la elaboración del RAP y la evaluación de los costos por kilómetro o área con el ánimo de comparar la viabilidad técnica y económica en la rehabilitación de vías.

De acuerdo al alto costo económico que genera la rehabilitación de vías y el estado actual de las mismas; se plantea el presente documento investigativo con el ánimo de evaluar

los beneficios económicos, ambientales y técnicos de emplear el material RAP en la rehabilitación de vías de la región generando alto impacto ecológico, económico y social con los diversos usuarios de las vías y comunidad en general.

Palabras Claves: Asfalto, capa de rodadura, pavimento, rehabilitación, fresado, vías, RAP.

ABSTRACT

Recycled Asphalt Pavement (RAP) is the term given to removed and / or reprocessed pavement materials that contain asphalt and aggregates. These materials are generated when the asphalt pavements are removed for reconstruction or rehabilitation. When properly crushed and sieved, RAP consists of high-quality, well-distributed aggregates coated with asphalt. Although the benefit of the use or recycling of remaining materials in the construction of pavement structures is widely known; the use of RAP in paving projects is still low in our country and in the rest of the countries of Latin America.

The preparation of the document addresses compliance with the general specifications of roads established by INVIAS for the materials used in the preparation of the RAP and the evaluation of costs per kilometer or area with the aim of comparing the technical and economic viability in the track rehabilitation.

According to the high economic cost of road rehabilitation and the current state of the same; This research document is proposed with the aim of evaluating the economic, environmental and technical benefits of using RAP material in the rehabilitation of roads in the region, generating high ecological, economic and social impact with the various road users and the community in general.

Keywords: Asphalt, tread, pavement, rehabilitation, milling, roads, RAP.

Tabla de contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
4. METODOLOGIA	15
5. MARCO REFERENCIAL	16
5.1 ESTADO DEL ARTE	16
5.2 MARCO CONCEPTUAL	19
5.3 MARCO TEORICO	23
5.3.1 DEFINICION PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO (RAP)	23
5.3.2 FRESADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN SERVICIO.....	24
5.3.3 MEZCLA ASFÁLTICA	26
5.3.4 PROCESO DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS	28
5.4 MARCO LEGAL	38
6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
6.1 INFORMACIÓN EXISTENTE	44

6.1.1	Clima	44
6.1.2	Tránsito.....	45
6.1.3	Datos Geotécnicos.....	46
6.1.4	Diseño del pavimento.....	47
6.2	ANÁLISIS DE COSTOS	50
7.	CONCLUSIONES	53
8.	BIBLIOGRAFIA.....	55
	ANEXOS.....	57

INTRODUCCIÓN

En América Latina, el principal modo de transporte de personas y mercaderías es por carretera. Para asegurar buenas condiciones de circulación, seguridad y comodidad en la red vial son necesarias altas inversiones en la construcción, el mantenimiento y la recuperación de estas vías (Jesus, s.f.); los altos costos de debe a que se realizan con mezclas asfálticas en caliente del cual sus agregados pétreos son originados producto de explotación minera. En la actualidad los materiales provenientes de actividades de demolición o fresado de pavimentos asfálticos son poco empleados en contratos de reconstrucción y/o rehabilitación de pavimentos.

De acuerdo al alto nivel de deterioro presente en la malla vial del municipio de Girardot y de los demás municipios que conforman el Alto Magdalena, surge el presente documento de investigación sobre la viabilidad del uso de pavimentos reciclados como alternativa en la rehabilitación de vías urbanas en la región, reduciendo los costos de construcción asociados con materiales y acarreo. Además de mejorar parámetros de seguridad vial atendiendo oportunamente patologías presentes en las vías en servicio como lo es baches, hundimientos, grietas, etc., los cuales son originadores de accidentes viales.

Esta investigación busca generar una alternativa para la rehabilitación de vías de la región del Alto Magdalena de una manera económica y amigable con el medio ambiente basada en la aplicación de resultados y experiencias realizadas en diversas investigaciones, también se

aborda el grado de cumplimiento de pavimentos reciclados de acuerdo al marco normativo actual (INVIAS) y un análisis de costos en comparación con una mezcla asfáltica tradicional.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los materiales provenientes de actividad de demolición de pavimentos asfálticos y fresado de pavimentos flexibles en servicio, son en baja proporción reutilizados en las nuevas capas de rodadura asfálticas de una vía en construcción. El empleo de pavimentos asfálticos reciclados tiene ventajas ambientales dado a que disminuye la explotación minera para agregados en la elaboración de mezclas asfálticas, además de que para elaboración es viable el mezclado en frío disminuyendo emisión de gases de combustión en comparación de mezclas asfálticas tradicionales.

Basados en lo anteriormente descrito se genera un interrogante dentro de la investigación por los autores como lo es: ¿Existe la posibilidad de emplear pavimentos asfálticos reciclados en la rehabilitación de vías en la región, su costo sería viable en comparación a un pavimento asfáltico tradicional?

2. JUSTIFICACIÓN

El presente documento se origina dado el avanzado deterioro de los pavimentos asfálticos en el municipio de Girardot y los demás municipios que conforman la región del Alto Magdalena.

De acuerdo a lo anterior se plantea el uso de materiales reciclados provenientes de la demolición de pavimentos asfálticos (fresado), en la rehabilitación de vías urbanas en la región; debido a que al ser reutilizados los costos para mantenimientos de vía se ve disminuido y se contribuye al medio ambiente.

Esta investigación busca generar conciencia en los mandatarios de la región y todo el gremio constructor del Alto Magdalena, para que se vincule en los proyectos viales de su comunidad nuevas alternativas para la rehabilitación de vías amigables con el medio ambiente. Por otra parte, se aborda el grado de cumplimiento de acuerdo a lo descrito en la norma INVIAS y un análisis de costos con una mezcla asfáltica tradicional.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnica, comportamiento y análisis económico del material de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en comparación con la mezcla asfáltica tradicional, para el mejoramiento de vías urbanas de la región.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Investigar propiedades físico – mecánicas del material proveniente de fresado y demoliciones de pavimentos asfálticos en servicio.
- Analizar desde el punto de vista normativo y económico los beneficios de emplear el RAP en la rehabilitación de vías urbanas.
- Evaluar, concluir y recomendar, de acuerdo a la investigación realizada la viabilidad técnica, económica y ambiental sobre el uso del RAP en nuestra región del alto magdalena.

4. METODOLOGIA

La presente monografía se presenta bajo una estructuración metodológica de recolección de procedimientos y técnicas basadas en investigaciones realizadas a los materiales provenientes de pavimentos asfálticos reciclados (RAP); la investigación describe las experiencias de investigadores y comunidad académica entorno a los pavimentos asfálticos reciclados a nivel mundial, nacional y regional.

El marco teórico se recolecto a través de investigaciones realizadas en el ámbito nacional a los materiales provenientes de demolición de pavimentos asfálticos y experiencias recopiladas de autores de documentos técnicos en el uso de pavimentos reciclados. Luego de abordar el tema teóricamente procedemos a comparar los resultados de las experiencias realizadas del uso de RAP y el grado de cumplimiento de acuerdo a la normatividad INVIAS, para ser empleado en la carpeta de rodadura de un pavimento. Finalmente se realiza los análisis del comportamiento del RAP desde el punto de vista normativo y económico para el empleo en vías urbanas de la región.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ESTADO DEL ARTE

En América Latina, el principal modo de transporte de personas y mercaderías es por carretera. Es importante indicar que el estado de las vías en nuestro país no es el más adecuado en niveles de confort y seguridad, lo anterior debido al incremento exponencial del parque automotor y a la baja asignación de recursos para mantenimientos de la red vial. Los municipios que conforman la región del Alto Magdalena no son la excepción de la situación descrita dado a que las administraciones municipales no destinan recursos para restauración de vías debido a las altas inversiones en la construcción, el mantenimiento y la recuperación de estas vías. El costo elevado en las actividades de restauración de vía se debe a que las intervenciones para las rehabilitaciones y mantenimiento, se realiza con mezclas asfálticas en caliente tradicionales las cuales esta compuestas principalmente por agregados pétreos producto de explotación minera y asfalto liquido procedente de la destilación del petróleo.

Un primer precedente del empleo de las técnicas de reciclado se dio después de la Segunda Guerra Mundial, cuando para reparar las carreteras secundarias afectadas por la misma se puso en práctica en el Reino Unido un procedimiento llamado "Retread Process" o proceso de recauchutado.

(Castillo, s.f.)

Los pavimentos asfálticos reciclados se conocen e implementan en el mundo a mediados de los años 70, Los Estados Unidos fueron los primeros en emplear esta técnica y debido a su popularización por ofrecer grandes ventajas económicas y ambientales; se implementó en varios países del mundo como Canadá, Alemania, Holanda, Brasil, España, entre otros, llegando a grandes producciones con reciclado de pavimentos. (Alarcon, s.f.)

En la actualidad los materiales provenientes de actividades de demolición o fresado de pavimentos asfálticos son poco empleados en contratos de reconstrucción y/o rehabilitación de pavimentos. Esta situación la origina a que no existen políticas públicas acerca de la reutilización de materiales pétreos de manera parcial o total en diferentes procesos de actividades de obra; en países donde la extracción de material de agregados es escasa esta es una solución muy sostenible desde el punto de vista ambiental y económico.

El reciclado de pavimentos flexibles, es una técnica viable y económica para el mejoramiento y mantenimiento de las carreteras colombianas, ya que hace posible reutilizar los materiales que se encuentran dispuestos en nuestras carreteras, una vez han cumplido con la vida útil, lo que representa economía en el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos en servicio, conservando así el patrimonio vial. (INVIAS O. d., 2012)

A mediados del año 2007, a través de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, el Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS), llevo a cabo ciertas

actualizaciones que reglamentaron el Reciclado de Pavimento asfáltico en frío en el lugar o In-Situ y el Reciclado de Pavimento asfáltico en Planta y Caliente a través de los Artículos 461 y 462, respectivamente (INVIAS, 2007), actualmente estas normas INVIAS han sido objeto de actualización y los artículos que reglamenta los pavimentos asfálticos reciclados se encuentran en el Capítulo 4 y Artículo 461-13

y el Artículo 462-13. Por su parte, el Instituto de Desarrollo Urbano de la ciudad de Bogotá (IDU), reglamentó en el año 2011 el reciclaje de pavimento asfáltico In-Situ y su estabilización con aditivos bituminosos y/o hidráulicos (IDU, 2011). (Benitez, 2013)

En Colombia se ha implantado el sistema de reciclaje de pavimentos en frío para diversos proyectos, se pueden nombrar algunas experiencias al respecto como: la vía Puertos López – Puerto Gaitán (Meta), Quibdó – Yuto (Choco), Medellín – Santuario (Antioquia), Cali - Loboguerrero (Valle del Cauca), Manizales - Mesones (Caldas), Autopista Bogotá – Villavicencio (Cundinamarca), entre otras. En la ciudad de Bogotá se ha llevado a cabo algunos trabajos de reciclaje en frío en vías principales, como: Av. Américas, Av. 68, Av. Boyacá, Av. Lara Bonilla. Cll 127 y en algunas vías de las localidades de: Engativá, Los Mártires, Kennedy, Usme, Bosa, entre otras. (CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA, 2007)

En el departamento de Antioquia también se ha llevado a cabo en la vía al mar destacándose los tramos: Uramita – Dabeiba – Mutatá – Chigorodó y El Tres – Turbo. (Restrepo H., Stephens S., 2015).

En el ámbito más local en el municipio de Girardot las técnicas de RAP no se tiene antecedentes de proyectos viales de rehabilitación, lo mismo sucede con las poblaciones vecinas que conforman la región del Alto Magdalena. Sin embargo, se obtuvo información de que las vías de carácter nacional que rodean el municipio de Girardot, en los proyectos de concesión vial administrado por la Agencia Nacional de Infraestructura ANI; este material producto de fresado y demoliciones de pavimento asfáltico es empleado para mejorar las propiedades físico-mecánicas de capas inferiores a la carpeta asfáltica.

5.2 MARCO CONCEPTUAL

FALLAS ESTRUCTURALES: Son fallas cuyo origen es la degradación de una o más capas del pavimento, en una magnitud tal, que se puede considerar que se ha vencido el periodo de diseño en las zonas afectadas. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

FALLAS FUNCIONALES: Este tipo de fallas son las que se presentan en la carpeta o capa asfáltica, relacionadas de manera más superficial en relación a la estructura del pavimento.

MANTENIMIENTO DE VÍAS: Medidas rutinarias y/o periódicas que ayudan al pavimento a llegar a su vida útil, manteniendo en óptimas condiciones la movilidad del tránsito vehicular. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

N: Número acumulado de ejes equivalentes a 8.2 ton. en el carril de diseño durante el periodo de diseño. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

RAP (RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT): pavimento asfáltico reciclado, es el material producto de actividades del fresado o demolición de pavimentos asfálticos en servicio.

ASFALTO: El asfalto es un material viscoso, que usualmente se utiliza como cementante en mezclas de concreto asfáltico, cuyo principal uso es en la construcción de pavimentos flexibles.

MEZCLA ASFÁLTICA: La mezcla asfáltica es una mezcla en proporciones exactas de asfalto (ligante hidrocarbonato), y materiales minerales compuestos por diferentes tamaños de áridos y finos.

RECICLAJE: Actividad que consiste en reutilizar material de las capas de estructura existente en nuevas capas asfálticas, mejorando su capacidad estructural.

RECONSTRUCCIÓN: Consiste en la remoción de capas y reemplazo parcial o total del pavimento, para mejorar su capacidad estructural. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

REHABILITACIÓN: Mejoramiento funcional o estructural del pavimento, que da lugar tanto a una extensión de su vida de servicio, como a la provisión de una superficie de rodamiento más cómoda y segura y a reducciones en los costos de operación vehicular. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

RESTAURACIÓN: Consiste en la ejecución de trabajos que mejoran la condición superficial del pavimento, pero no aumentan su capacidad portante. (Restrepo H., Stephens S., 2015).

PAVIMENTO FLEXIBLE: Tipo de pavimento conformado por una capa asfáltica instalada sobre una capa de base granular y sub base granular.

FRESADO DE PAVIMENTO: Es una actividad de corte o demolición que se realiza a los pavimentos asfálticos en servicio con una herramienta rotativa generalmente compuesta por varios filos. Este equipo se denomina Fresadora.

AGREGADO FINO (ARENA): Es el material que pasa en un 95% de sus partículas por el tamiz No.4, de 4.76mm (3/16”) de abertura entre hilos.

AGREGADO GRUESO (GRAVA): Es el material que queda retenido en el tamiz de 150mm (6”), cuyas partículas son en un 95% mayores de 4.76mm.

EMULSION ASFALTICA: son micro dispersiones de cemento asfáltico en agua, más un agente emulsificador el cual actúa como estabilizador.

5.3 MARCO TEORICO

5.3.1 DEFINICION PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO (RAP)

Pavimento asfáltico reciclado (RAP, por sus siglas en inglés) es el término que se le da a los materiales del pavimento removidos y/o reprocessados que contienen asfalto y agregados. Estos materiales se generan cuando los pavimentos asfálticos son removidos para reconstrucción o rehabilitación. Cuando se tritura y tamiza apropiadamente, el RAP consiste en agregados de alta calidad, bien distribuidos recubiertos por asfalto.

Utilización de Pavimentos Asfálticos Reciclados (RAP)

El uso de agregados reciclados (RAP, del inglés, Recycled Asphalt Pavement) surge como una alternativa tecnológicamente viable y sostenible, tanto desde el punto de vista ambiental como económico siendo capaz de reducir en hasta un 45% el uso de material virgen. (Jesus, s.f.)

Con el RAP es posible construir estructuras de pavimento utilizando materiales fresados que normalmente se desecharían. Actualmente se cuenta con una amplia gama de equipos que produce ese material con un alto nivel de calidad. (Jesus, s.f.)

Existen cuatro tipos de mezclas adecuadas para el reciclaje: espuma de asfalto; emulsiones; cemento o cal y, finalmente, la mezcla producida in situ (que posibilita añadir del 10% al 45% de material fresado al material virgen. (Jesus, s.f.)

5.3.2 FRESADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN SERVICIO

El proceso de fresado o demolición de las capas asfálticas se realiza retirando las mezclas en forma de bloques, extraídos con palas, martillos neumáticos rompedores o con masas de caída libre o mediante los escarificadores de los Buldóceres, si se trata de la eliminación completa del conjunto de las mezclas. Empleando el fresado se utiliza la misma maquinaria que para los reciclados "in situ", el cual es una máquina fresadora (Wirtgen, Caterpillar, etc.) con controles automáticos, capaz de fresar el pavimento asfáltico con una profundidad precisa de corte y con el perfil y la pendiente transversal establecidos. El equipo estará provisto de dispositivos (banda transportadora) para verter el material fresado directamente en camiones de transporte, eliminándose una parte de la capa asfáltica del pavimento flexible. Este material es trasladado a la planta donde es machacado o triturado, ensayándolo para ver las propiedades de los materiales componentes, así como clasificación granulométrica y adicionado para elaborar nuevas Mezclas. (Castillo, s.f.)

Existen 2 formas de recuperar los materiales de las capas de los pavimentos por fresado o por demolición mecánica:

1) Fresado: Es utilizada cuando se quiere solo recuperar cierto espesor con el fin de dejar una superficie plana y regular para un extendido posterior de nuevas capas asfálticas. La granulometría del material fresado depende principalmente de factores como: el espesor y el estado de la capa a fresar; el tipo de fresadora empleada y la velocidad de avance de la misma.

Este proceso proporciona varias ventajas entre las que están el fresado de un carril completo dependiendo de su faja de trabajo, así como la rugosidad para la posterior pavimentación de la capa superior evitando problemas de interface, además de que se eliminan las huellas dejadas por daños como deformación permanente. (Castillo, s.f.)

Existen tres tipos de fresados, a continuación, se definen cada uno de ellos

- Fresado superficial: Es utilizado para corregir problemas superficiales, por lo tanto, no produce aporte estructural al pavimento. En países europeos es llamado microfresado.
 - Fresado poco profundo: Es utilizado para espesores de capas asfálticas, con la que es posible realizar bacheos superficiales. Al igual que el anterior fresado no produce aporte estructural al pavimento.
 - Fresado profundo o a profundidad total: Este produce aporte estructural al pavimento. Este llega a niveles profundos pudiendo alcanzar a la base o sub-base.
- 2) Demolición mecánica: Es usada normalmente cuando no existen requisitos precisos de reutilización posterior o de saneamiento de un determinado espesor del pavimento reciclado, en este caso el material sale en forma de bloques. (Castillo, s.f.).

5.3.3 MEZCLA ASFÁLTICA

Es el material más común en los proyectos de construcción de vías de carreteras, vías urbanas, aeropuertos y parqueaderos. La mezcla asfáltica es una mezcla en proporciones exactas de asfalto (ligante hidrocarbonato), y materiales minerales compuestos por diferentes tamaños de áridos y finos. Mientras las capas granulares resisten la acción del tráfico, la función de la mezcla asfáltica es resistir los efectos abrasivos, impermeabilizar la superficie y proporcionar una capa de rodadura cómoda y segura a los usuarios que la utilicen. Estas mezclas garantizar resistencia al tráfico demandante, impermeabilidad para que el agua no desestabilice la estructura vial, y debe ser trabajable para que sea factible su instalación en obra. (Buitrago & González, 2016)

5.3.3.1 Clasificación de las mezclas asfálticas por temperatura

- *Mezcla Asfáltica en Caliente*

Son las mezclas asfálticas más utilizadas, y consisten en la combinación de un ligante, agregados y en algunos casos aditivos. Su proceso de producción se realiza con asfaltos a temperaturas alrededor de 150°C a 160°C, dependiendo de su viscosidad, con el fin de darle trabajabilidad a la mezcla y garantizar el total recubrimiento de todas las partículas del agregado.

Estas mezclas asfálticas son utilizadas tanto en capas de rodadura como en capas inferiores de la estructura vial. Su instalación se realiza a elevadas temperaturas. (Buitrago & González, 2016).

- *Mezcla Asfáltica en frío*

Son mezclas producidas con emulsión asfáltica, trabajadas e instaladas a temperatura ambiente. Estas bajas temperaturas se deben a que el ligante permanece largo tiempo con viscosidad baja, ya que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado, y no se necesitan altas temperaturas para darle trabajabilidad a la mezcla y recubrimiento total a las partículas de agregados. Estas mezclas se caracterizan por su trabajabilidad, incluso durante semanas, y se utilizan principalmente para vías secundarias en las cuales no se presente mucho tráfico. (Buitrago & González, 2016).

- *Mezcla Asfáltica en tibio:*

Las mezclas asfálticas en tibio son muy parecidas a las mezclas asfálticas en caliente, con diferencia en que se producen e instalan a temperaturas inferiores. Para lograr esto, se utilizan aditivos en la mezcla, que permiten una reducción de la viscosidad a menores temperaturas y un óptimo recubrimiento de los agregados. El objetivo de la utilización de estas mezclas, es el de reducir el consumo de energía y la emisión de gases, en los procesos de producción e instalación de las mezclas asfálticas en caliente. (Buitrago & González, 2016).

5.3.4 PROCESO DEL RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

Con el desecho de los materiales envejecidos del pavimento asfaltico se afecta al medio ambiente en la disposición final, además se origina procesos relacionados con explotación minera para los agregados de nueva materia prima en la rehabilitación y/o reconstrucción de una vía, resulta contraproducente desde el punto de vista técnico, ya que pese a estar envejecidos, conservan buena parte de sus propiedades. El fresado y reutilización del conglomerado asfáltico genera un gran ahorro, ya que requiere sólo de un 1% a un 3% de betún adicional, mientras que un nuevo concreto asfáltico puede necesitar más del 6%. Este aspecto, junto con el reducido coste de transporte y la escasa energía necesaria para la producción de un firme reciclado, hacen que el ahorro energético sea importante respecto de la construcción convencional de pavimentos. (Castillo, s.f.)

El reciclado del pavimento asfaltico es una técnica de rehabilitación de pavimentos flexibles que se basa en reutilizar los materiales provenientes de la carpeta asfáltica que ha estado en servicio y presenta pérdida de propiedades y deterioros, pero pueden ser reutilizados nuevamente en la capa de rodadura.

5.3.4.1 *Clasificación de las tecnologías de reciclado de los pavimentos flexibles.*

En función del lugar donde se lleva a cabo la mezcla:

- Reciclado "in situ"
- Reciclado "en planta"

En función de la temperatura de elaboración y colocación de la mezcla (Castillo, s.f.)

- *Reciclado en frío:* Los procesos denominados —en frío son aquellos compuestos por actividades que no involucran variaciones drásticas o considerables de temperatura. Esto es, que se consiguen a través de la utilización de equipos e insumos, agentes o aditivos, que se integran para reutilizar el producto asfáltico existente, con el fin de generar un nuevo material que posea unas condiciones mecánicas identificables, manejables y utilizables. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

- *Reciclado en caliente:* Los procesos denominados —en caliente son aquellos compuestos por actividades que implican variaciones drásticas y/o considerables de temperatura. Se define como el proceso mediante el cual los materiales del pavimento asfáltico disgregado se combina con materiales pétreos nuevos, adicionando ligantes bituminosos y en casos específicos agentes rejuvenecedores que garanticen la homogenización de la mezcla y la calidad de la misma después del reproceso. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

En función del ligante añadido:

- Con cemento o betún asfáltico
- Con emulsiones asfálticas
- Con aglomerante hidráulico como el cemento Pórtland. (Castillo, s.f.)

Generalmente cada proceso de reciclado está formado por la combinación de las tecnologías mencionadas anteriormente, como se describe a continuación:

5.3.4.1.1 Reciclado in situ en caliente

Se reutilizan los materiales de la estructura envejecida mediante un tratamiento a altas temperaturas en el lugar de la obra, se calienta mediante unos quemadores y este material se mezcla con agentes químicos rejuvenecedores y con nueva mezcla, que al final se extiende y compacta según el espesor requerido. (Buitrago & González, 2016)

5.3.4.1.2 Reciclado in situ en frío con cemento

Procedimiento que se fundamenta en el fresado en frío de un cierto grosor del pavimento envejecido y el mezclado de este material con un conglomerante hidráulico como el cemento utilizado normalmente. El nuevo material se extiende y se compacta definiendo una sólida base para posteriores refuerzos. (Buitrago & González, 2016)

5.3.4.1.3 *Reciclado in situ en frío con emulsiones bituminosas*

Esta técnica, reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido. El procedimiento usual y básico consiste en el fresado en frío de cierto espesor del pavimento, este material se mezcla con una proporción determinada de emulsión y otros aditivos. El nuevo material se extiende y se compacta, seguido del curado de la capa reciclada y por último la extensión de una capa delgada de rodadura a base de mezcla caliente. (Buitrago & González, 2016)

5.3.4.1.4 *Reciclado en planta*

En esta técnica se extrae el RAP de la vía, es transportado hasta un lugar para su posterior uso con material nuevo, y se obtienen mezclas asfálticas nuevas. Este procedimiento permite reciclar el conjunto o una cierta proporción de material envejecido mediante una central asfáltica adaptada. Al ser el porcentaje de material envejecido relativamente bajo, esta metodología permite corregir problemas graves de dosificación o calidad de los materiales. (Buitrago & González, 2016).

A continuación, se relacionan las principales ventajas de las técnicas de reciclado:

Tabla 1. Principales ventajas de las técnicas de reciclado		
TECNICA DE RECICLADO	VENTAJA	DESVENTAJAS
Reciclado superficial	Mejora la resistencia al deslizamiento	El mezclado debe ser muy fino
	Corrige las deficiencias de origen superficial	Estricto control para evitar agrietamientos.
	Mejora el perfil geométrico de la calzada	Protección del tráfico a temprana edad
	Permite eliminar la capa de restitución de gálibo en refuerzos del pavimento	
Reciclado "IN SITU"	Mejora la resistencia al deslizamiento	El material no se acopia
	Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural	Precaución en la compactación y % de agua.
	Permite incrementar en forma limitada la resistencia estructural del pavimento	Falta de políticas públicas y desconocimiento de funcionarios públicos.
	Elimina temporalmente las fisuras reflejas	Baja divulgación en el sector académico.
	Permite corregir las características de las mezclas asfálticas superficiales (6 a 7 cm) con deformaciones plásticas	Gremio constructor no emplea estas técnicas en la región.
	Mejora el perfil geométrico de la calzada	
Reciclado en Planta	Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto	El material RAP debe ser transportado.
	Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural	Debe diseñarse La emulsión para propiedades de agregado.
	Produce mezclas asfálticas de mejor calidad	Estricto control de Humedad
	Permite eliminar o corregir las capas intermedias de deficiente comportamiento	Almacenamiento de emulsión y material RAP
	Elimina las fisuras reflejas	Estricto Control de producción
	Mejora la resistencia al deslizamiento	Se requiere de equipos de planta asfáltica
	Corrige el perfil geométrico de la calzada	El material es sometido a mas ensayos.
Nota: Recuperado de (Restrepo H., Stephens S., 2015)		

5.3.4.2 Propiedades de los materiales empleados en el RAP

- **Agregados pétreos resultantes de la pulverización del pavimento:** Los agregados pétreos resultantes de la pulverización mecánica de las capas del pavimento en servicio deberán cumplir con la granulometría descrita en las especificaciones técnicas generales de carreteras Capítulo 4. Artículo 461-13, en la siguiente tabla 1, se ilustra las franjas granulométricas que debe cumplir el material:

Tabla 2. Franja granulométrica de los agregados reciclados en frío.

MATERIAL	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
PULVERIZADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE, AJUSTADO CON MATERIAL DE ADICIÓN CUANDO SE REQUIERA	% PASA							
	100	75-100	65-100	45-75	30-60	20-45	10-30	5-20

Nota: Recuperado de Especificaciones técnicas generales de carreteras – 2013. (INVIAS I. N., 2013)

- **Agregados pétreos de adición:** En el caso de que se requiera la adición de material pétreo para satisfacer el requisito de gradación, éste deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 2.

Tabla 3. *Requisitos de los agregados de adición para reciclado del pavimento*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRÁNSITO		
		NT-1	NT-2	NT-3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218	40	40	40
Degradación en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	-	-	70 75
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos de magnesio, máximo (%) - Agregado grueso - Agregado fino	E-220	18 18	18 18	18 18
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	N. P	N,P	N.P
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
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 / dos caras	E-227	50 / -	50 / -	50 / -
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): Porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca en el Artículo 330, "Base granular", medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	80	80	100
Adhesividad, gradación combinada				
Resistencia conservada inmersión – compresión, mínimo (%)	E - 622	50	50	50

Nota: Recuperado de Especificaciones técnicas generales de carreteras – 2013. (INVIAS I. N., 2013)

Es recomendable que el agregado de adición tenga características mineralógicas similares a las del agregado que se recicla, con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de los componentes. (INVIAS I. N., 2013)

- **Agua:** El agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos deberá ser limpia y libre de materia orgánica. Puede ser agua potable; si no lo es, deberá cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 3.

Tabla 4. <i>Requisitos del agua no potable para reciclados en frío</i>		
CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
pH	D 1293	5.5 - 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ⁼ , g/l máximo	D 516	1.0
Nota: Recuperado de Especificaciones técnicas generales de carreteras – 2013. (INVIAS I. N., 2013)		

- **Materiales bituminosos:** Para los reciclados en frío en el lugar con emulsión asfáltica, ésta será de rompimiento lento, del tipo CRL-1, cuyo residuo de destilación tenga una penetración entre cien y doscientas cincuenta (100–250) décimas de milímetro, que sea compatible con los agregados pétreos. Se deberá comprobar, además, la compatibilidad de la emulsión asfáltica con el material fresado mediante el ensayo de envuelta y resistencia al desplazamiento sin adición de carbonato de calcio, según la norma de ensayo INV E-769. (INVIAS I. N., 2013)

- **Puzolanas:** Se consideran como tales, algunas llenantes comerciales que complementan la acción del ligante asfáltico en cuanto a su reactividad. Los más utilizados son el cemento hidráulico, la cal hidratada y las cenizas volantes.
- **Aditivos mejoradores de adherencia:** Cuando se requieran, se puede emplear aditivos mejoradores de adherencia entre agregados y el ligante. La dosificación y dispersión homogénea del aditivo dependerá de los estudios realizados en la fórmula de trabajo. Se debe garantizar que su incorporación no producirá ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla.

5.3.4.3 *Formula de trabajo.*

El parámetro de aceptación de la fórmula de trabajo está dado por el ensayo de inmersión-compresión, el cual establece que el porcentaje óptimo de ligante será aquel que cumpliendo con las especificaciones dadas consiga el máximo de la resistencia a la compresión de las probetas en húmedo. (Restrepo H., Stephens S., 2015)

A continuación, se relacionan los ensayos de laboratorio requeridos para el material RAP y verificados dentro de la fórmula de trabajo:

- Granulometría de material fresado.
- Porcentaje de agua de envuelta (referente al árido seco).
- Correcciones necesarias para el agregado en su caso.
- Tipo y cantidad de aditivos (cal y/o cemento) en su caso.
- Tipo de la emulsión bituminosa y porcentaje respecto al agregado seco que satisfagan las especificaciones para el ensayo de inmersión - compresión. (Restrepo H., Stephens S., 2015).

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

5.4 MARCO LEGAL

El marco normativo para la construcción de pavimentos asfálticos en nuestro país se encuentra descrito en las Especificaciones generales de construcción de carreteras – 2013 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS); en esta norma contiene los requisitos de calidad de materiales además de establecer estándares y describir los procedimientos generales de ejecución de actividades, para el control y recibo de trabajos a nivel de infraestructura vial en el territorio nacional.

En el Capítulo 4 – *Pavimentos asfálticos*, de las Especificaciones generales de construcción de carreteras, se establece los requisitos que deben cumplir los materiales bituminosos a emplearse en obras de pavimentación nacionales, menciona todos los parámetros de calidad que deben contener las mezclas asfálticas tanto en frío como en caliente. Basados en este capítulo 4 se encuentra los artículos: *Artículo 461-13 – Reciclado de pavimento asfáltico en frío en el lugar empleando materiales bituminosos* y el *Artículo 462-13 Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente*, de los cuales se hará varias referencias en el presente documento.

También en la ciudad capital Bogotá D.C., se crearon en especificaciones generales, el Instituto de Desarrollo Urbano de la ciudad de Bogotá (IDU), reglamentó en el año 2011 el reciclaje de

pavimento asfáltico In Situ y su estabilización con aditivos bituminosos y/o hidráulicos
(IDU, 2011).

6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dentro de la revisión de los documentos estudiados de investigaciones realizadas al material denominado RAP, resaltamos dos (2) documentos de pavimentos asfálticos reciclados. El primero es relacionado con pavimentos asfálticos reciclados en frío y el segundo caracterización del RAP para el empleo de mezclas asfálticas en caliente; los cuales relacionamos y describimos a continuación:

- Restrepo H., Stephens S. (2015). *Estudio de las ventajas economicas del reciclaje en frío IN SITU de pavimentos asfálticos.* . Medellin.

Esta investigación se basa en una experiencia de los autores en un proyecto de reciclado en frío ejecutado en la vía que conduce de Sopetrán a Puente de occidente – Departamento de Antioquia, en el documento describen el proceso de reciclado en frío con adición de cemento in situ para la vía Sopetrán – Puente de Occidente desde la escarificación, distribución homogénea del cemento y mezclado del material reciclado con el cemento aplicado para finalmente conformar, compactar y curar con una emulsión catiónica que impida la evaporación prematura del agua necesaria para el fraguado. Se evalúan costos y toma de decisiones a partir de otras alternativas planteadas de intervención del mismo tramo de vía en estudio.

Si bien la técnica de reciclado en frío es conocida e implementada en diversos proyectos por medio de equipos de recicladora resaltamos este documento dado a basados en la experiencia de los autores describen el paso a paso del proceso de reciclado en frío in situ: el cual se inicia con actividades iniciales de Topografía, continúan con el proceso de escarificación o trituración de la carpeta asfáltica por medio de una recicladora para luego proceder adicionar el cemento según la cantidad establecida por m³ fresado, se mezcla en vía, se humedece y compacta, para finalmente curar con una emulsión asfáltica que antecede la instalación de una capa asfáltica de rodadura. Este tipo de técnicas puede ser adaptado en otras regiones del país como los municipios que conforman la región del Alto Magdalena para que de esta forma el mejoramiento de vías se realice de forma económica y sostenible con el medio ambiente, además que desde el punto de vista técnico con el RAP en frío con adición de cemento los aportes estructurales de la estructura de pavimento aumentarían prolongado la vida útil del pavimento rehabilitado.

- Buitrago, F., & González, A. (2016). *CARACTERIZACIÓN DEL RAP E IDENTIFICACIÓN DE SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE*. Bogotá D.C.

En este documento los autores realizaron el análisis a 6 muestras de Pavimento asfáltico reciclado obtenido desde fresado de vía y en planta. Se procedió a determinar sus propiedades de contenido de asfalto y análisis granulométrico en laboratorio, obtenido el material asfáltico se realizan los

demás ensayos de ductilidad, punto de ablandamiento, viscosidad etc.; con el ánimo de obtener las propiedades del asfalto.

Los autores del documento estudian la influencia del porcentaje de asfalto y el envejecimiento del RAP en el comportamiento mecánico en mezclas asfálticas en caliente. Realizan un diseño de mezcla asfáltica MDC-19 obteniendo el porcentaje óptimo de asfalto y en base a esta mezcla tradicional se establece un punto de comparación para las mezclas asfálticas elaboradas con adición de RAP. con porcentajes de 20%, 40% y 60%, para contenidos de asfalto 5.06%, 7.57% y 6.74%.

Los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de las muestras de RAP (reciclado de pavimento asfáltico) permiten establecer que este material es heterogéneo debido a que existe variedad en las granulometrías de las muestras tomadas y de manera similar en las características del asfalto extraído por medio de la centrifuga.

El RAP presenta diferentes granulometrías de agregados pétreos que en general, de acuerdo a la evaluación realizada en la investigación los materiales después de ser sometido al proceso de fresado no cumplen los requisitos establecidos en la norma INVIAS para una mezcla MDC-19, por tal motivo es necesario realizar adición de agregados pétreos y contenido de asfalto para optimizar la mezcla asfáltica es decir establecer una fórmula de trabajo.

El material RAP puede ser empleado en la producción de mezclas en caliente sin riesgo a inflamación, ya que el punto de este material se encuentra a elevadas temperaturas superiores a las empleadas en procesos de mezclado y compactación.

En las mezclas asfálticas con adición de RAP con contenidos de asfaltos elevados no cumple con los parámetros de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos de aire y relación de estabilidad/flujo para ningún porcentaje de adición; por otra parte, para contenidos de asfalto bajos se presenta un buen comportamiento mecánico y no se encuentran alejados de cumplir con la norma INVIAS. Se determinó que con el contenido de asfalto en el material de RAP cercanos al promedio obtenido (6.74%) en la caracterización realizada a las muestras del RAP se cumplen todos los requisitos y se presentan las mejores condiciones mecánicas, no obstante, es recomendable que si se tiene un alto grado de oxidación para estos asfaltos su adición en la mezcla asfáltica sea mayor al 20%.

Resaltamos esta investigación dado que los autores basados en la experiencia determinaron propiedades mecánicas del material RAP, donde se estipula que la gradación de este material es muy heterogénea teniendo que adicionar agregados pétreos para cumplir con los parámetros del análisis granulométrico establecido en las normas INVIAS, se evaluó el comportamiento de parámetros de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y demás en las mezclas asfálticas con adición del material RAP para concluir bajo qué condiciones y proporción es la más óptima a emplear en mezclas asfálticas recicladas con material RAP en caliente. Si bien el municipio de Girardot y poblaciones vecinas no cuentan con una amplia variedad de plantas asfálticas que produzcan mezclas densas en caliente es importante y necesario que desde la academia se promueva y

divulgue estas prácticas de reciclado de pavimento asfáltico en caliente dado a que su costo es inferior al de una mezcla asfáltica tradicional, además de ser sostenible con el medio ambiente dado a que reduce la explotación de agregados, emisión de gases en la producción de mezcla asfáltica y disposición final del material producto de fresado o demolición del pavimento.

6.1 INFORMACIÓN EXISTENTE

Se realiza el análisis comparativo en términos económicos para la intervención de un tramo de vía de un kilómetro, por medio de rehabilitación de una carpeta asfáltica tradicional de mezcla densa en caliente MDC19 y una mezcla asfáltica reciclada con material RAP en caliente.

6.1.1 Clima

Para la selección de la mezcla densa en caliente se determinó las condiciones ambientes del municipio de Girardot, los cuales los datos históricos fueron recolectados de la página <https://es.climate-data.org/> y se ilustran a continuación:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	28.1	28.1	28	27.5	27.6	27.3	28	28.5	28.2	27.5	27.1	27.5
Temperatura mín. (°C)	22.3	22.6	22.6	22.4	22.4	21.8	21.7	22.1	22.2	22.2	22.1	22.1
Temperatura máx. (°C)	33.9	33.7	33.5	32.7	32.8	32.9	34.4	34.9	34.3	32.8	32.2	32.9
Precipitación (mm)	58	90	103	194	191	83	47	55	107	196	150	71

Data: 1982 - 2012

(CLIMATE-DATA.ORG, 2020)

Con base en la información de temperatura media del ambiente, se calculó la temperatura media ponderada, se decide adoptar para el empleo de la Mezcla asfáltica el asfalto de penetración 60-70.

TIPO DE CAPA	NT 1			NT 2			NT 3		
	TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA REGIÓN (° C)								
	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
Rodadura e Intermedia	60-70	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100	40-50 60-70 o Tipo II (a o b) o Tipo III	40-50 60-70 o Tipo II (a o b)	60-70 80-100 o Tipo IIb

Nota: Recuperado de Especificaciones técnicas generales de carreteras – 2013. (INVIAS I. N., 2013)

6.1.2 Tránsito

En cuanto a los datos de tránsito se determinó que Girardot por ser una ciudad intermedia con una población de alrededor de unos 150.000 habitantes para fines académicos se cataloga para las vías principales y colectoras un nivel de tránsito dos NT2.

NT1: Nivel de tránsito uno. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es inferior a 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

NT2: Nivel de tránsito dos. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir oscila entre 0.5×10^6 y 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

NT3: Nivel de tránsito tres. Corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir es superior a 5.0×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

Tabla 6. Niveles de Tránsito	
NIVEL DE TRANSITO	NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 KN EN EL CARRIL DE DISEÑO, N80kn, MILLONES
NT1	$N_{80kn} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kn} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kn} > 5.0$
Nota: Recuperado de Especificaciones técnicas generales de carreteras – 2013. (INVIAS I. N., 2013)	

6.1.3 Datos Geotécnicos

Para el cálculo de cantidades se realiza de acuerdo a los espesores que presentan las vías en servicio del municipio de Girardot; los cuales, por información de funcionarios de la Secretaría de Infraestructura del municipio, documentos técnicos y académicos consultados, los espesores del concreto asfáltico de la malla vial del municipio se encuentran del orden de 5 a 10 cm. Se emplea el espesor de 10 cm para cálculo de cantidades de obra. En cuanto a los materiales granulares generalmente se presentan espesores de 40 a 50 cm compuesto por bases y sub base granular.

Grafica de espesores.



Fuente: Los autores.

6.1.4 Diseño del pavimento

[De acuerdo a la información existente procedemos a calcular el espesor de la estructura del pavimento de acuerdo al método AASHTO 93:

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\text{Log}[\Delta PSI / (4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1094 / (SN + 1)^{5.19}} \right] + 2.32 \text{Log } M_R - 8.07$$

Donde:

W18 (N)= Cantidad de ejes simples equivalentes a 18 Kips (8.2 t - 80 KN)

ZR = Desviación estándar normal

So = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

Δ PSI = Pérdida de serviciabilidad o diferencia entre el índice de servicio inicial (Pi) y el final (Pt).

MR = Módulo Resiliente de la subrasante (lb/plg²).

SN = Número estructural indicativo del espesor total requerido de pavimento y el cual se determina a partir de la siguiente expresión:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 + \dots + a_nD_nm_n$$

Siendo: ai = Coeficiente estructural de la capa i
 Di = Espesor de la capa i (en pulgadas)
 mi = Coeficiente de drenaje de la capa granular i

DATOS DE ENTRADA:

ESAL DE DISEÑO	5,000,000.00
CONFIABILIDAD	85%
DESVIACION	-1.036
SERV INICIAL (Po)	4.20
SERV FINAL (Pt)	2.00
DELTA PSI	2.20
So	0.45

DATOS DE SUELO

CBR BASE (%)	80 - Asumido
CBR SUBBASE (%)	30 - Asumido
CBR SUBRASANTE (%)	5 - Asumido
ESTABILIO MARSHALL (N)	9000
F'c (Mpa)	4.2
Modulo Resiliente (Psi)	7,157.0

$$\log_{10}(W_{18}) = 6.699 = 6.699$$

NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO

SN = 4.113

Diseño de Pavimento Flexible

Número Estructural	4.113406835	Módulo Resiliente (Psi)	7,157.01
Design ESALs	5,000,000.00	Serviciabilidad Inicial	4.20
Confiabilidad	85%	Serviciabilidad Final	2.00
Desviación Estandar	-1.036		

Diseño de Espesores de Pavimento

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPESOR (Pulg)	ESPESOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Asfalto	0.43	1	4	10	4.324
Base Granular	0.13	1	0	0	0.000
Sub Base Granular	0.11	1	0	0	0.000
					4.324

SN (Calculado) = 4.324

SN (Requerido) = 4.113

De acuerdo a los resultados del diseño del pavimento por el método AASHTO 93, con 10 cm de espesor en concreto asfaltico es suficiente para estar por encima del numero estructural requerido, asumiendo que el material granular remanente presenta propiedades mecánicas

suficientes en base CBR de 80% y Sub base CBR de 30% para aporte estructural. De acuerdo a lo anterior el análisis de costos se plantea solamente para la capa asfáltica.

6.2 ANÁLISIS DE COSTOS

CALCULO DE CANTIDADES DE OBRA.

- Fresado de pavimento asfáltico existente

Longitud = 1000 mts. Ancho: 7 mts. Espesor Concreto asfáltico: 0.10 mts.
 Área = 7000 m² Volumen = 700 m³

- Suministro extendida y compactación de MDC-19. Volumen = 700 m³

Tabla 7. Presupuesto Intervención Con mezcla asfáltica tradicional MDC-19					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0	PRELIMINARES				
1.1	Fresado de Pavimento Asfáltico en espesor de 10 CM	M2	7,000.00	\$ 6,850.18	\$ 47,951,260.00
2.0	ESTRUCTURA PAVIMENTO				
2.1	RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRR-1	M2	7,000.00	\$ 1,146.91	\$ 8,028,370.00
2.2	Mezcla Densa en Caliente tipo MDC-19	M3	700.00	\$ 514,618.85	\$ 360,233,192.31
3.0	SEÑALIZACIÓN				
3.1	SEÑAL VERTICAL DE TRÁNSITO TIPO SP, SR Y SI CON LÁMINA RETRORREFLECTIVA TIPO IX O SUPERIOR	UN	5.00	\$ 274,644.62	\$ 1,373,223.08
3.2	LÍNEA DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRIO	M	3,000.00	\$ 1,280.00	3,840,000.00
VALOR COSTOS DIRECTOS					\$ 421,426,045.38
A	ADMINISTRACION		20.00%		\$ 84,285,209.00
I	IMPREVISTOS		5.00%		\$ 21,071,302.00
U	UTILIDAD		5.00%		\$ 21,071,302.00

VALOR TOTAL OBRA					\$ 547,853,858.38
<i>Tabla 8. Presupuesto Intervención Con mezcla asfáltica reciclada en planta</i>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0	PRELIMINARES				
1.1	Fresado de Pavimento Asfáltico en espesor de 10 CM	M2	7,000.00	\$ 6,850.18	\$ 47,951,260.00
2.0	ESTRUCTURA PAVIMENTO				
2.1	RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRR-1	M2	7,000.00	\$ 1,146.91	\$ 8,028,370.00
2.2	Mezcla Asfáltica Reciclada en caliente de tipo MDC-19	M3	490.00	\$ 368,368.85	\$ 180,500,734.62
2.3	Transporte de material reciclado a Planta - 10 km	M3/KM	2,100.00	\$ 908.62	\$ 1,908,102.00
3.0	SEÑALIZACIÓN				
3.1	SEÑAL VERTICAL DE TRÁNSITO TIPO SP, SR Y SI CON LÁMINA RETRORREFLECTIVA TIPO IX O SUPERIOR	UN	5.00	\$ 274,644.62	\$ 1,373,223.08
3.2	LÍNEA DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRIO	M	3,000.00	\$ 1,280.00	3,840,000.00
VALOR COSTOS DIRECTOS					\$ 243,601,689.69
A	ADMINISTRACION		20.00%		\$ 48,720,338.00
I	IMPREVISTOS		5.00%		\$ 12,180,084.00
U	UTILIDAD		5.00%		\$ 12,180,084.00
VALOR TOTAL OBRA					\$ 316,682,195.69

Para el cálculo de la mezcla asfáltica reciclada se realizó el análisis de precio unitario con la proporción recomendada en documentos técnicos e investigaciones académicas. Con fines académicos empleamos una proporción de 70 % MDC-19 y 30 % en material RAP.

Se establece que el costo de la rehabilitación de vía por kilómetro empleando una mezcla asfáltica tradicional es de \$ 547,853,858.38; y empleando material RAP (30%) y

mezclado en planta el costo por kilómetro de rehabilitación es de \$ 316,682,195.69, generándose un ahorro del 42% aproximadamente.

7. CONCLUSIONES

- Con el aprovechamiento del material reciclado de pavimentos asfálticos RAP se obtiene diversos beneficios dado a la reducción de los procesos de explotación y trituración de agregados, disminución de agentes contaminantes a la atmosfera y prolonga la vida útil de sitios de disposición final de materiales producto de actividades de obras.
- Se concluye que el material proveniente de RAP es viable su uso tanto en procesos de reciclado en frío in situ como el reciclado en caliente en planta; siendo el reciclado en frío el más viable su implementación y empleo en la región en un mediano plazo, donde es importante dar a conocer estas técnicas de rehabilitación de vías a los mandatarios y administraciones de los municipios que conforman la región del Alto Magdalena para que adopten estas técnicas para mejorar el estado de la malla vial de sus comunidades.
- En términos de costos se estableció que con el empleo del material RAP en pavimentos asfálticos reciclados en planta se reduce los costos de producción, dado a que el material RAP aporta volúmenes considerables de agregados y contenido de material asfáltico o ligante.
- Es importante que en el municipio de Girardot y la región del alto magdalena los mandatarios locales generen estas prácticas de reciclaje de pavimentos asfálticos dado a

que son sostenibles con el medio ambiente; además de que sus costos de producción son inferiores a los de una mezcla asfáltica tradicional.

- Emplear el uso de RAP, fórmulas de trabajo adecuadas y productos estabilizadores para estructuras de pavimento, son alternativas viables y económicas, que implementadas adecuadamente cumpliendo los parámetros de las especificaciones técnicas generales de carreteras INVIAS, se obtiene una estructura de pavimento perdurable y de buena calidad generando una reducción de costos en el transporte y los materiales a instalar.
- Es importante que para el uso de RAP en mezclas asfálticas en caliente se realice la caracterización de agregados y contenido de material asfáltico; dado a que el material de fresado es heterogéneo en la gradación y los contenidos de asfalto pueden variar de acuerdo al grado de envejecimiento del pavimento asfáltico en servicio reutilizado.

8. BIBLIOGRAFIA

Alarcon, J. (s.f.). *RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN CALIENTE EN PLANTA*.

Capítulo 3. Obtenido de tesisenred:

<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/5906/10CAPITULO3.pdf?sequence=10&isAllowed=y>

Benitez, J. (2013). *DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE DE PAVIMENTOS EN COLOMBIA Y RECOMENDACIONES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EFECTIVA*. Bogota D.C.

Buitrago, F., & González, A. (2016). *CARACTERIZACIÓN DEL RAP E IDENTIFICACIÓN DE SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE*. Bogotá D.C.

Castillo, D. (s.f.). *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9085/1/AC-C-ESPE-048069.pdf>

CLIMATE-DATA.ORG. (8 de 05 de 2020). Obtenido de CLIMATE-DATA.ORG: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/girardot-876022/>

INVIAS, I. N. (2013). *Especificaciones Tecnicas Generales de Carreteras*. Bogota D.C.

INVIAS, O. d. (6 de 9 de 2012). *INVIAS*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/831-reciclado-del-pavimento-una-tecnica-viable-y-economica-para-las-vias>

Jesus, M. d. (s.f.). *ROAD EXPERTS*. Recuperado el 15 de marzo de 2020, de

<https://www.roadexpertsla.com/es/experts/articulo/tecnologia-para-la-aplicacion-de-fresado-de-asfalto-rap>

Restrepo H., Stephens S. (2015). *Estudio de las ventajas economicas del reciclaje en frío IN SITU de pavimentos asfálticos*. . Medellin.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Precios Unitarios.

Fresado de Pavimento asfáltico

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD		
1.1	Fresado de Pavimento Asfáltico en espesor de 10 CM			m2			
I. EQUIPO							
	DESCRIPCIÓN		TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
	Barredora mecánica de cepillo de 3658 mm ; 6 m3		\$ 224,882.26	150.000	\$ 1,499.22		
	Cargador : Potencia en el volante 110 hp, Clasificación de RPM del motor 2300.		\$ 118,941.43	150.000	\$ 792.94		
	Fresadora de pavimento, potencia 255 HP, peso 19 Ton, PROFUNDIDAD DE CORTE 305 mm		\$ 535,098.34	150.000	\$ 3,567.32		
	HERRAMIENTA MEN			1%	1.70		
SUBTOTAL \$					\$ 5,861.18		
II. MATERIALES							
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
SUBTOTAL \$							
III. TRANSPORTES							
MATERIAL		UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	(1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
	Transporte de material fresado	m3km	0.13	5.00	0.65	\$ 1,260.70	\$ 819.46
SUBTOTAL \$							\$ 819.46
IV. MANO DE OBRA							
	TRABAJADOR	JORNAL	PRESTACIONES (%)	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
	Obrero (4)	\$ 109,977.84	185	\$ 203,459.00	1,200.00	\$ 169.55	
SUBTOTAL \$						169.55	
TOTAL COSTO DIRECTO \$							6,850.18

Riego de Liga

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD
2.1	RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRR-1			m2	
I. EQUIPO					
	DESCRIPCIÓN		TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO
	Carrotanque Irrigador de asfalto, 1000 GALONES DE CAPACIDA		\$ 88,319.14	500.000	\$ 176.64
	Compresor (barrido y soplado)		\$ 47,151.45	500.000	\$ 94.30
	HERRAMIENTA MENOR (%)			1%	0.51
SUBTOTAL \$					\$ 271.45
II. MATERIALES					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO
	Emulsión CRR-1	lt	0.450	\$ 1,832.44	\$ 824.60
SUBTOTAL \$					\$ 824.60
III. TRANSPORTES					
	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIAS (2)	(1) * (2)
SUBTOTAL \$					
IV. MANO DE OBRA					
	TRABAJADOR	JORNAL	PRESTACIONES (%)	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO
	Obrero (4)	\$ 109,977.84	185	\$ 203,459.00	4,000.00
SUBTOTAL \$					50.86
TOTAL COSTO DIRECTO \$					1,146.91

Mezcla Densa en Caliente MDC19

ITEM	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD		
2.2	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-19		m3			
I. EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
Herramienta menor % M.O.			5%	\$ 75.90		
Vibrocompactador	7 toneladas TANDEM	\$ 150,000.00	40	\$ 3,750.00		
Compactador neumático	HYSTER	\$ 150,000.00	40	\$ 3,750.00		
Terminadora de asfalto (Finisher)	174 HP (25 M3/HORA)	\$ 275,000.00	40	\$ 6,875.00		
			SUBTOTAL \$	\$ 14,450.90		
II. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
Mezcla densa en caliente MDC-19	M³	1.250	\$ 390,000.00	\$ 487,500.00		
			SUBTOTAL \$	\$ 487,500.00		
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	CANTIDAD* DISTANCIA (1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
Mezcla densa en caliente MDC-19	m3-km	1.250	10	12.500	\$ 892.00	\$ 11,150.00
					SUBTOTAL \$	\$ 11,150.00
IV. MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACIONES	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
CUADRILLA ASFALTEROS (6 obrero, 2 rastrilleros y 1 oficial)						
OFICIAL	\$ 55,000.00	1.85	\$ 101,750.00	320	\$ 317.97	
OBREROS (5)	\$ 138,020.00	1.85	\$ 255,337.00	320	\$ 797.93	
RASTRILLEROS	\$ 69,544.10	1.85	\$ 128,656.59	320	\$ 402.05	
			SUBTOTAL \$		\$ 1,517.95	
					TOTAL COSTO DIRECTO \$	\$ 514,618.85

Mezcla Asfáltica Reciclada en caliente de tipo MDC-19

ITEM	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD		
2.2	Mezcla Asfáltica Reciclada en caliente de tipo MDC-19		m3			
I. EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
Herramienta menor % M.O.			5%	\$ 75.90		
Vibrocompactador	7 toneladas TANDEM	\$ 150,000.00	40	\$ 3,750.00		
Compactador neumático	HYSTER	\$ 150,000.00	40	\$ 3,750.00		
Terminadora de asfalto (Finisher)	174 HP (25 M3/HORA)	\$ 275,000.00	40	\$ 6,875.00		
SUBTOTAL \$				\$ 14,450.90		
II. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
Mezcla densa en caliente MDC-19	M³	0.875	\$ 390,000.00	\$ 341,250.00		
SUBTOTAL \$				\$ 341,250.00		
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	CANTIDAD * DISTANCIA (1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
Mezcla densa en caliente MDC-19	m3-km	0.875	10	8.750	\$ 892.00	\$ 7,805.00
Material asfáltico RAP a planta	m3-km	0.375	10	3.75	\$ 892.00	\$ 3,345.00
SUBTOTAL \$						\$ 11,150.00
IV. MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACIONES	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
CUADRILLA ASFALTEROS (6 obrero, 2 rastrilleros y 1 oficial)						
OFICIAL	\$ 55,000.00	1.85	\$ 101,750.00	320	\$ 317.97	
OBREROS (5)	\$ 138,020.00	1.85	\$ 255,337.00	320	\$ 797.93	
RASTRILLEROS	\$ 69,544.10	1.85	\$ 128,656.59	320	\$ 402.05	
SUBTOTAL \$						\$ 1,517.95
TOTAL COSTO DIRECTO \$						\$ 368,368.85

Transporte de material reciclado a Planta - 10 km

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD	
2.3	Transporte de Material reciclado a Planta			m3/km		
I. EQUIPO						
	DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
	Volqueta 6 m3		\$ 59,968.60	66.00	\$ 908.62	
SUBTOTAL \$					908.62	
II. MATERIALES						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO	
SUBTOTAL \$						
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	(1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
SUBTOTAL \$						
IV. MANO DE OBRA						
	TRABAJADOR	JORNAL	PRESTACIONES (%)	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO
SUBTOTAL \$						
TOTAL COSTO DIRECTO \$					908.62	

SEÑAL VERTICAL DE TRÁNSITO TIPO SP, SR Y SI

ITEM	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD		
3.1	SEÑAL VERTICAL DE TRÁNSITO TIPO SP, SR Y SI CON LÁMINA RETRORREFLECTIVA TIPO IX O SUPERIOR		u			
I. EQUIPO						
	DESCRIPCIÓN	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
	Herramienta menor		1%	\$ 85.11		
	Camioneta	\$ 50,000.00	3.75	\$ 13,333.33		
SUBTOTAL \$				\$ 13,418.45		
II. MATERIALES						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO	
	Concreto Resistencia 14 (Mpa)	m3	0.04	353873.4	\$ 14,154.94	
	Señal (grupo 1). Tablero en lámina galvanizada de 75cm*75cm, calibre 16, reflectivo tipo IX/ incluye poste)	U	1.00	235000	\$ 235,000.00	
	TORNILLOS Y REMACHES	U	4.00	890	\$ 3,560.00	
SUBTOTAL \$				\$ 252,714.94		
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	CANTIDAD * DISTANCIA (1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
SUBTOTAL \$						\$ -
IV. MANO DE OBRA						
	DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACIONES	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO
	OBREROS (3)	\$ 82,812.00	1.85	\$ 153,202.20	30	\$ 5,106.74
	OFICIAL	\$ 55,208.00	1.85	\$ 102,134.80	30	\$ 3,404.49
SUBTOTAL \$						\$ 8,511.23
TOTAL COSTO DIRECTO \$						\$ 274,644.62

LÍNEA DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRIO

ITEM	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD		
3.2	LÍNEA DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRIO		m			
I. EQUIPO						
DESCRIPCIÓN		TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO		
Herramienta menor			1%	\$ 1.15		
Vehículo delineador		\$ 150,000.00	1000	\$ 150.00		
Camioneta		\$ 50,000.00	1000	\$ 50.00		
SUBTOTAL \$				\$ 201.15		
II. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO		
Esferas reflectivas	KG	0.046	3980	\$ 183.08		
Pintura acrílica para tráfico (Base agua)	GALÓN	0.011	58000	\$ 638.00		
Disolvente para pintura Trafico (acrílico)	GALON	0.0051	28000	\$ 142.80		
SUBTOTAL \$				\$ 963.88		
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD (1)	DISTANCIA (2)	CANTIDAD * DISTANCIA (1) * (2)	TARIFA	Vr. UNITARIO
SUBTOTAL \$						\$ -
IV. MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	JORNAL	PRESTACIONES	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
OPERADOR DE EQUIPO	\$ 70,000.00	1.85	\$ 129,500.00	1609.12	\$ 80.48	
AYUDANTE	\$ 30,000.00	1.85	\$ 55,500.00	1609.12	\$ 34.49	
SUBTOTAL \$						\$ 114.97
TOTAL COSTO DIRECTO \$						\$ 1,280.00

MATERIAL UTILIZADO:

El material de fresado fue suministrado por la compañía HMC LTDA su acopio se encuentra ubicado en el sector de Siberia Cundinamarca la muestra obtenida fue 300 kg de material reciclado.¹

Al ensayo se le realizó la extracción cuantitativa del asfalto para pavimentos (I.N.V.E 732-13) el material reciclado arrojó un porcentaje del 6.31% de contenido residual del asfalto.²

Inco Asfaltos S.A suministro la cantidad de 50 litros de emulsión asfáltica de rompimiento lento de concentración 60-40 Asfalto Residual Penetración 80-100 tal como se muestra en la siguiente figura.

ENSAYO / ANÁLISIS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ESPECIFICACION		RESULTADO	FRECUENCIA
			Min	Max		
Contenido de Asfalto	%	Evaporación	57,00	-	58,52	CADA LOTE
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C	s	E - 763	-	200,00	20,00	QUINCENAL
Contenido de agua en volumen	%	E - 761	-	43,00	42,20	CADA LOTE
Estabilidad en almacenamiento - Sedimentación a los 7 días	%	E - 764	-	5,00	4,60	QUINCENAL
Destilación -Contenido de asfalto residual	%	E - 762	57,00	-	57,80	MENSUAL
Destilación - Contenido de disolventes			Reportar		1,00	MENSUAL
Tamizado - Retenido tamiz No 20 (850 μ m)	%	E - 765	-	0,10	0,04	CADA LOTE
Rotura - Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E - 766	Reportar		0,20	SEMESTRAL
Carga de partícula	%	E - 767	Positiva		POSITIVA	MENSUAL
Ph	%	E - 768	-	6,00	2,50	CADA LOTE
ENSAYO SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACION						
Penetración (25°C, 100g, 5s)	0,1 mm	E - 706	60,00	100,00	101,00	MENSUAL
			100,00	250,00		
Ductilidad (25°C, 5 cm/min)	cm	E - 702	40,00	-	150,00	MENSUAL
Solubilidad en tricloroetileno	%	E - 713	97,00	-	99,00	SEMESTRAL

Fuente: tomada de IncoAsfalto (2013)

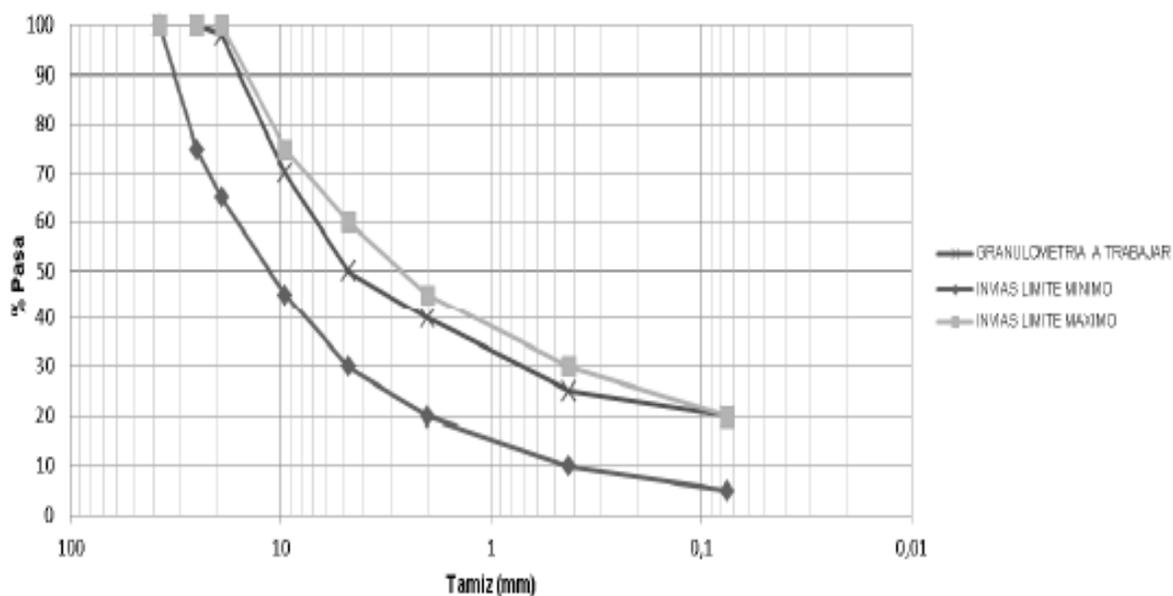
¹ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

² CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

GRANULOMETRIA

La granulometría del RAP se realizó bajo los parámetros y recomendaciones emitidas por autores consultados Burbano, Zuluaga (2011) y bajo reglamentos de la norma invias, Artículo 461.

Se muestra la figura granulométrica para la elaboración de los especímenes con la curva de valores mínimos y máximos de acuerdo al artículo 461 de invias 2013



³FIGURA: Análisis granulométrico pavimento de asfalto reciclado (RAP)FUENTE: Tomado de CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) consultado 10-05-2020

³ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
RETENIDO No 10			PASA No 10			
PESO INICIAL		3000,0	INICIAL			
PESO FINAL		2760,0	FINAL			700,0
TAMIZ		PESO RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO INDIVIDUAL	% QUE PASA	% QUE PASA ESPECIFICACION	
Pulg	mm					
2"	50,80	0,0	0,0	100,0	100	-
1-1/2"	38,10	0,0	0,0	100,0	100	-
1"	25,40	0,0	0,0	100,0	70 - 100	100
3/4"	19,05	360,0	12,0	88,0	60 - 90	70 - 100
3/8"	9,52	500,0	16,7	71,3	45 - 75	50 - 80
Nº4	4,76	600,0	20,0	51,3	30 - 60	95 - 85
Nº10	2,00	620,0	20,7	30,7	20 - 45	20 - 45
Nº40	0,430	350,0	11,7	19,0	10 - 30	10 - 30
No 200	0,074	350,0	11,7	7,3	5 - 15	5 - 15
F		220,0	7,3			

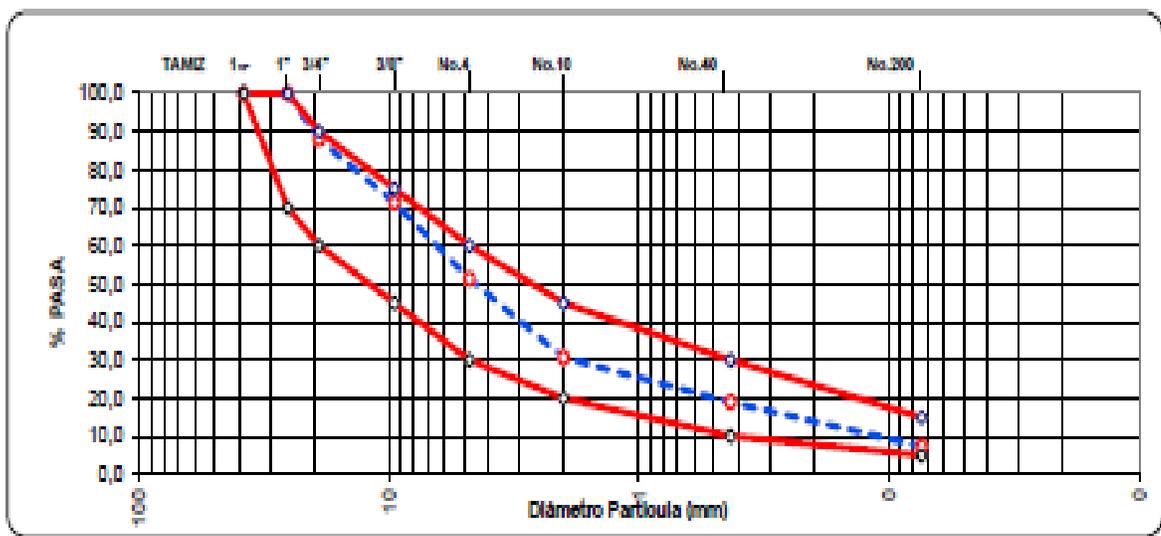
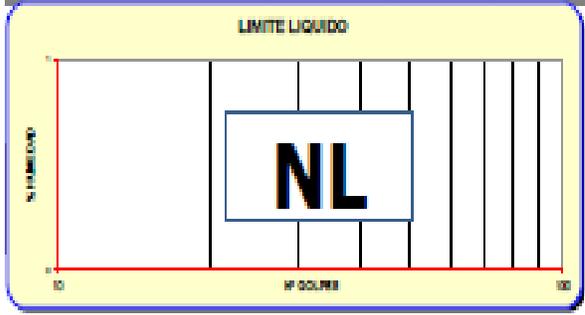
CUMPLE ESPECIFICACION	SI <input checked="" type="checkbox"/>
	NO <input type="checkbox"/>
CLASIFICACION	

OBSERVACIONES: _____

GRAVAS:	%	48,7
ARENAS:	%	44,0
FINOS:	%	7,3

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS INV E - 125 - 13			
ENSAYO N°	1	2	3
TARA N°			
N° DE GOLPES			
PESO SUELO+TARA HUMEDO		NL	
PESO SUELO+TARA SECO			
PESO TARA			
% DE HUMEDAD			

LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS INV E - 126 - 13			
ENSAYO N°	1	2	3
TARA N°			
PESO SUELO+TARA HUMEDO		NP	
PESO SUELO+TARA SECO			
PESO TARA			
% DE HUMEDAD			



ENSAYO DE BRIQUETAS

1: Se selecciona 1200 gr de material de fresado

2: Dosificación de la emulsión asfáltica de los 1200 gr del material de fresado propuesto para la elaboración de las probetas y considerando los valores de densidades de los materiales se propone la siguiente dosificación.⁴

Para 95 l/m ³	
Peso de la muestra (g):	1200
Cantidad de Emulsion (g):	58,69
Porcentaje de Emulsion (%):	4,89
Porcentaje de Cemento (%):	0,6
Cantidad de Cemento (g):	6,85
Porcentaje de Agua (%):	1
Cantidad de Agua (g):	11,34
Cantidad de material R.A.P (g)	1123,12

Para 105 l/m ³	
Peso de la muestra (g):	1200
Cantidad de Emulsion (g):	64,87
Porcentaje de Emulsion (%):	5,41
Porcentaje de Cemento (%):	0,6
Cantidad de Cemento (g):	6,81
Porcentaje de Agua (%):	1
Cantidad de Agua (g):	11,28
Cantidad de material R.A.P (g)	1117,04

En una bandeja se riega el material se procede a mezclarlo se agrega la emulsión asfáltica homogéneamente asegurando que todo el material quede cubierto, ya cuando está totalmente cubierto se agrega el cemento portland tipo 1 en las cantidades propuestas en el trabajo.

⁴ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

⁵ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

En este proceso se lleva por dos minutos luego se introduce en los moldes para ser compactado como lo indica la norma INVIAS 748-13.

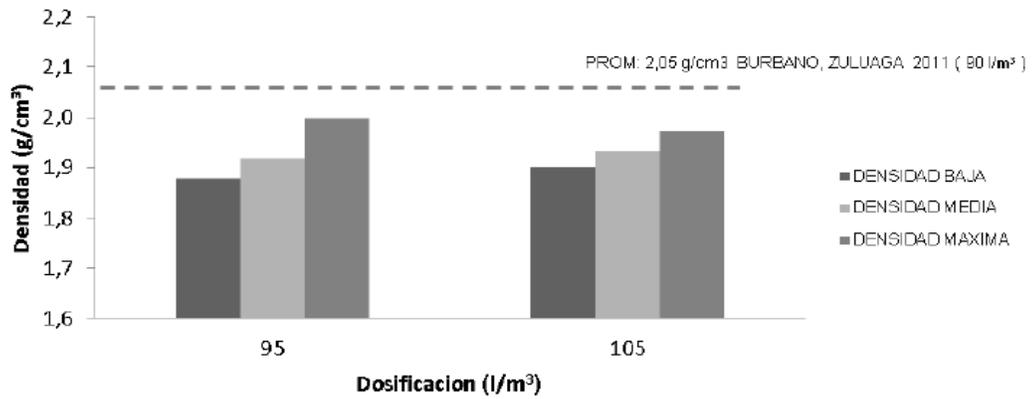
De acuerdo a los ensayos realizados por los autores consultados se realizan los siguientes ensayos:

Densidades:

Después que se compactan se proceden a sacar el espécimen dentro de un tiempo de 24 horas, en el artículo 461 del INVIAS se espera un lapso de 10 días ya que se debe esperar la maduración de la mezcla luego de ser compactada para que el contenido de humedad del material reciclado y compactado sea inferior al 1 %.⁶

Tras el curado en seco se determina la densidad BULK según la norma INVIAS 733-13 de acuerdo a esta norma se determina diámetro, altura y peso en seco promedio a cada espécimen se determina la masa de un espécimen saturado y luego una inmersión de 5 minutos se determina el peso del espécimen superficialmente seco.

⁶ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante



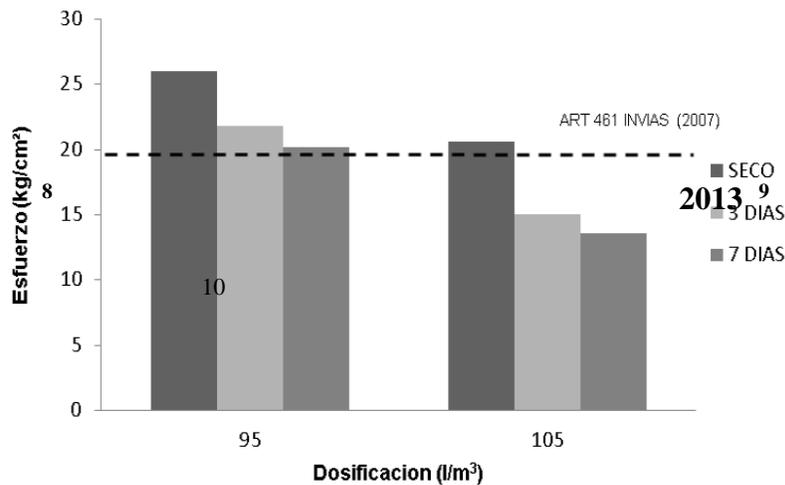
7

Se obtuvieron resultados de densidad máxima, media y baja, la dosificación para 95 l/m³ se obtuvieron los mayores valores de densidad, para la dosificación de 105 l/m³ se plantea que a mayor cantidad de emulsión menor es su densidad, el valor de densidad máximo de 105 l/m³ cae un 1% respecto a la densidad optima por la dosificación 95 l/m³.

⁷ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

INMERSION COMPRESION

A continuación, se presenta los ensayos de resistencia a la compresión de los especímenes, por el método de compactación estática ante condiciones de rompimiento de la emulsión al aire y ante condiciones de inmersión prolongada.

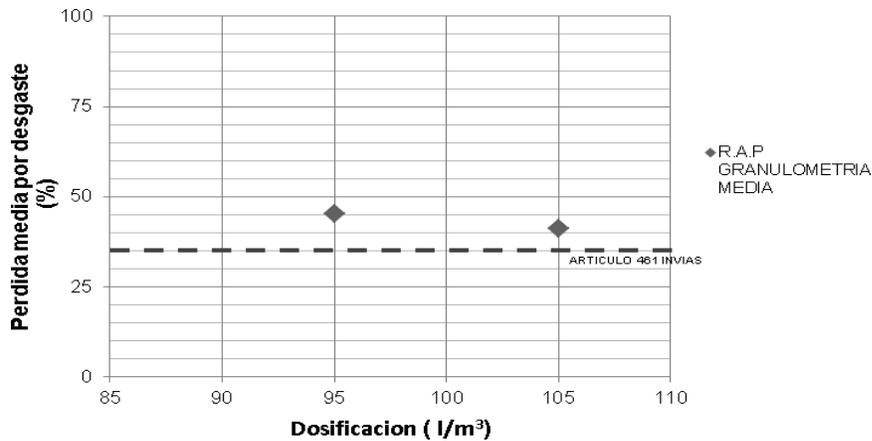


En la figura se evidencia que tiene buen comportamiento y desempeño de los especímenes elaborados. Se puede observar que para las especificaciones se cumple lo estipulado en la norma colombiana con respecto a los esfuerzos mínimos (mayor igual 20 kg/cm²)

⁸ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

⁹ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

CANTABRO



Podemos observar un porcentaje de desgaste del 45 % para la dosificación de 95 l/m³ y 41 % para la dosificación de 105 l/m³.

Se concluye por resultados obtenidos y lo visto en autores como Sarmiento (2012) que las mezclas en frío no tiene buen desempeño en cuanto al desgaste.¹¹

De acuerdo a los objetivos planteados en este documento, con el compilado de los resultados obtenidos en los ensayos realizados, en donde se evaluó el comportamiento mecánico de la mezcla estabilizada con emulsión y adición de cemento.

¹¹ CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante

	LABORATORIOS REALIZADOS			RESULTADOS OBTENIDOS, ELABORACION PROPIA		RESULTADOS OBTENIDOS POR BURBANO, ZULUAGA (2011)			ARTICULO 461 INVIAS	IDU (2011)
				DOSIFICACIONES						
	95 l/m ³	105 l/m ³	75 l/m ³	90 l/m ³	105 l/m ³					
COMPACTACION ESTATICA	VALORES MAXIMOS DE DENSIDAD MAXIMA G/CM3			2	1,98	2,03	2	2,05	-	-
	VALORES MAXIMOS DE INMERSIO - COMPRESION Kg/CM ²	CONDICIONES DE ENSAYO	CURADO EN SECO	29,12	21,61	16,87	22,09	-	> = 20	N/A
			CURADO TRAS INMERSION 7 DIAS	20,54	11,56	0	3,48	-	> = 15	N/A
VALORES ENSAYO DE CANTABRO % DE DESGASTE			45,1	41,26	-	-	-	-	-	35

¹² CASTELLANOS J- SOCHA R. (2014) evaluación de comportamiento mecánico en pavimentos de espesor completo de asfalto reciclado (RAP) estabilización con emulsión asfáltica y adición de cemento portland tipo 1 sin intervención de la subrasante.

