

COMPORTAMIENTO, VIABILIDAD Y COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
GRANO DE CAUCHO RECICLADO PARA LA FABRICACIÓN DE MEZCLA
ASFALTICA.

NESTOR ANDRES RUIZ GALEANO
BRIAN RODRIGUEZ MEDINA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA D.C

2016

COMPORTAMIENTO, VIABILIDAD Y COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
GRANO DE CAUCHO RECICLADO PARA LA FABRICACIÓN DE MEZCLA
ASFALTICA.

NESTOR ANDRES RUIZ GALEANO

BRIAN RODRIGUEZ MEDINA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero civil

ING. EDGAR ALEXANDRES PADILLA

Asesor disciplinar

LAURA CALA CRISTANCHO

Asesora metodológica

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C

2016

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS	11
4.1 OBJETIVO GENERAL	11
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
5. ANTECEDENTES	122
5.1 ALCALDÍA LOCAL LANZA CAMPAÑA DE RECOLECCIÓN DE LLANTAS..	
.....	133
6. MARCO DE REFERENCIA	166
6.1 MEZCLA ASFÁLTICA CON TRITURADO DE LLANTA (GCR).....	166
6.1.2 Métodos de obtención del (GCR).....	166
6.1.3 Optimización de las vías con el (GCR)	166
6.1.4 Optimización del medio ambiente con el (GCR)	166
6.1.5 Déficit a nivel económico con el (GCR)	166
6.1.6 Mayor rentabilidad en costo vs tiempo con el (GCR).....	177
6.1.7 Disminución de costos del (GCR)	177
6.2 EMPRESAS QUE FABRICAN GCR	177
6.2.1 Grupo Renova	177
6.2.2 Mundo Limpio	177
7. MARCO LEGAL	188
8. DISEÑO METODOLÓGICO	19
8.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	1919
8.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN	1919
8.3 FASES DE INVESTIGACIÓN	1919
FASE 1. Determinación de los factores que elevan los costos de la mezcla de	
asfalto con grano de caucho reciclado.....	1919

FASE 2. Comparación del comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado y mezcla asfáltica convencional.....	1919
FASE 3. Ventajas y desventajas de la implementación de grano de caucho reciclado en la mezcla asfáltica.	2020
8.4 INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	2020
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	211
9.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS DE ASFALTO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.	211
9.1.1 Determinación de los factores que elevan los costos de la mezcla de asfalto con grano de caucho reciclado.....	222
9.2 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO Y MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	244
9.2.1 Proceso por vía seca	244
9.2.2 Proceso por vía húmeda.....	277
9.2.3 Conclusiones y recomendaciones	277
9.2.4 Análisis comparativo del módulo dinámico de mezclas asfálticas convencionales con mezclas asfalto-caucho por vía húmeda.	288
9.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GRANO DE CAUCHO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA.....	433
9.3.1 VENTAJAS	433
9.3.2 DESVENTAJAS.....	444
10. CONCLUSIONES.....	455
11. CONCLUSIÓN OBJETIVO GENERAL.....	466
12. RECOMENDACIONES	4747
13. BIBLIOGRAFÍA	4848
14. ANEXOS	49

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Composición porcentual de llanta.....	10
Ilustración 2: Acumulación de llantas en la ciudad de Bogotá.....	12
Ilustración 3: Aprovechamiento de llantas usadas en la cadena de gestión (% en Toneladas).....	13
Ilustración 4: Proceso industrial fabricación de Grano De Caucho Reciclado.....	14
Ilustración 5. Proceso industrial para la fabricación de Grano De Caucho Reciclado.....	21
Ilustración 6: Deformación plástica MDC-1.....	26
Ilustración 7: Deformación plástica MDC-2.....	26
Ilustración 8. Módulo resiliente en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-1.....	29
Ilustración 9 .Módulo dinámico en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-1.....	30
Ilustración 10. Módulo resiliente en función de la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-2.....	32
Ilustración 11. Módulo dinámico en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-2.....	32
Ilustración 12. Módulo dinámico en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo asfalto caucho.....	35
Ilustración 13. Módulo resiliente en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo asfalto caucho.....	35
Ilustración 14. Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-1 con mezcla asfalto-caucho.....	38
Ilustración 15. Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-2 con mezcla asfalto-caucho.....	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Contenido óptimo de ligante Marshall.....	25
Tabla 2. Resultados prueba de módulo resiliente mezcla tipo MDC-1.....	28
Tabla 3. Resultados prueba de módulo resiliente mezcla tipo MDC-2.....	31
Tabla 4: Resultados prueba de Módulo de resiliente mezcla tipo Asfalto caucho.....	33
Tabla 5. Estimación del módulo a 7.5 Hz mezcla tipo MDC-1.....	36
Tabla 6. Estimación del módulo a 7.5 Hz mezcla tipo MDC-2.....	37
Tabla 7: Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-1 con mezcla asfalto caucho.....	38
Tabla 8: Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-2 con mezcla asfalto caucho.....	39
Tabla 9. Valores de parámetros Marshall de una mezcla tipo asfalto caucho.....	41
Tabla10.Valores de parámetros Marshall de una mezcla tipo MDC-2.....	41

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el tema de la contaminación ambiental causa gran preocupación debido al aumento significativo de llantas que generalmente se encuentran en quebradas, terrenos baldíos o en las calles. Hace tiempo era común disponer las llantas enteras en rellenos sanitarios sin embargo esta práctica hoy en día es rechazada debido a la forma y composición de dicho residuo.

En Colombia se han venido implementando la incorporación de grano de caucho reciclado (GCR) en los pavimentos con el fin de obtener mejoramientos de las propiedades del ligante en la mezcla asfáltica.

El presente trabajo de investigación busca realizar un análisis comparativo entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con grano de caucho reciclado (GCR), debido a la problemática actual de la dificultad para la evacuación final de las llantas de caucho provenientes del parque automotor e industrias afines en nuestro país, se sintetiza las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales de utilizar el grano de caucho reciclado en mezclas asfálticas.

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL COMPORTAMIENTO Y COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO PARA LA FABRICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El asfalto se obtiene de origen natural (asfaltita) u obtenido artificialmente por destilación del petróleo, generando un impacto ambiental directo que debe ser tenido en cuenta en investigaciones futuras para cuantificar los problemas ambientales asociados a la producción de asfalto por destilación, del mismo modo, se generan impactos ambientales indirectos asociados a la producción de mezclas asfálticas. Una mezcla asfáltica convencional se compone de material asfáltico, agregados pétreos y llenante mineral, donde el asfalto juega un papel importante como material ligante en la mezcla asfáltica.

La investigación busca realizar un análisis comparativo entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con grano de caucho reciclado (GCR), debido a la problemática actual de la dificultad para la evacuación final de las llantas de caucho provenientes del parque automotor e industrias afines en nuestro país y en el resto del mundo, se ha optado por la trituración de las llantas para la inclusión en mezclas asfálticas por vía húmeda o vía seca, teniendo como resultados la mejora en algunas propiedades mecánicas de las mezclas, sin embargo en Colombia es necesario seguir investigando sobre el tema para generar de forma masiva la producción de las mezclas asfálticas modificadas con GCR y ayudar a la problemática ambiental asociada a la descomposición del caucho proveniente de las llantas.

Para este trabajo no se realizaron los diseños como mezclas como tal, estos resultados fueron suministrados por CENTRASA SA laboratorio perteneciente al GRUPO EMPRESARIAL LHS SAS y en base en los resultados presentados en los informes CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS – MÓDULOS DINÁMICOS, MEZCLAS TIPO MDC-1, MDC-2, MDC-12, MDC-20.ANEXO1, PAGINAS 6, 7, 8 y 9 Se tomó para el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de los módulos dinámicos los resultados de las mezclas tipo MDC-1 y MDC-2, y del informe CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÓDULOS DINÁMICOS MEZCLAS TIPO ASFALTO CAUCHO, se tomó el resultado de la mezcla GG-1(GAD GRADED) con incorporación de GCR.

¿Cuál es la viabilidad en cuanto al comportamiento mecánico del asfalto-caucho y los costos de la implementación del grano de caucho reciclado en la preparación de mezclas asfáltica?

3. JUSTIFICACIÓN

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), ha venido usando el Grano de Caucho Reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas para pavimentar algunas calles en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

Existe una problemática que es un residuo sólido que se llama “llanta fuera de uso” el cual hay que buscarle una disposición final que sea ecológica, y amigable con el medio ambiente y el ecosistema, y una de las alternativas es la que estudiamos en el presente informe, que trata de su trituración, pulverización y reducción de las partículas a un tamiz que permita la homogenización dentro del cemento asfáltico para que infiera en ciertas propiedades de desempeño al asfalto.

Como Bogotá produce 2 millones de residuos de llantas al año que se han convertido en un problema ambiental, la quema de llantas genera emisiones tóxicas que son peligrosas para los ciudadanos¹, y cada neumático abandonado tarda en degradarse y desaparecer de la naturaleza más de 1.000 años y, sin embargo, reciclado es aprovechable en su totalidad y ser reutilizado en numerosas aplicaciones². Se calcula que al año se consume un promedio de entre 4.5 y 5.5 millones de llantas en el país, de las cuales se recicla por incineración y en rellenos sanitarios un 72%, se reencaucha un 17%, el 6% tiene un destino artesanal y a un 5% se le da otros usos, como el “regrabado”, de acuerdo con las cifras que maneja Mundo Limpio, empresa recicladora de neumáticos.³

El Ing. Humberto Quintero (Humberto Quintero O y Cia. SCA – transformación, suministro y transporte de asfalto – ponente conferencia del grupo empresarial LHS S.A.S – Mayo 2016), argumento que existen 2’500.000 llantas usadas al año en la ciudad de Bogotá, cada día 2050 llantas en promedio terminan en los espacios públicos de la ciudad, para un promedio de 750.000 llantas que finalizan calles de la capital Colombiana.

¹ Libardo Celis, director técnico estratégico del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

² Agencia EFE, S.A, efemotor. [en línea]. (6 octubre de 2013). [citado 21 de mayo de 2016].

³ VASQUEZ, Maria Angelica, redactora de EL TIEMPO. Art, Las llantas viejas con un problema ambiental “radial”.

Ilustración 1: COMPOSICION PORCENTUAL DE LA LLANTA



Fuente: Humberto Quintero, conferencia Grupo Empresarial LHS S.A.S – 05/2016

Luego de analizar ciertas estadísticas de los promedios de la obtención de llantas recicladas en la ciudad de Bogotá se justifica la incorporación de los procesos de triturado de estas para la concepción y diseño de una mezcla asfáltica que se realiza según el requerimiento del proyecto, también pasará pruebas de calidad (por normativa), y para este diseño se basa en el desempeño y se tiene en consideración factores como:

- Temperatura y humedad en donde se desarrolla la obra.
- Tipo de pavimento.
- Tipo de mezcla.
- Vida útil estimada.
- Intensidad del tráfico de la vía.

El asfalto-caucho, es un cemento asfáltico convencional modificado, resultante de la interacción físico-química de GCR y polímeros elastómeros, y aditivos de tecnología de mezclas tibias, entre otros, que busca manejar adecuadamente y aprovechar el residuo de llantas con el que cuenta el país, todo esto sin afectar negativamente las características físico-químicas del asfalto, y su comportamiento facilita el manejo con temperaturas de mezclado que oscilan entre los 150 y 155°C y compactación en obra entre 120 y 115°C, contribuyendo con la rentabilidad del proyecto y con menores emisiones contaminantes.

A partir del segundo semestre del 2012, toda persona que ejecute y adelante procesos constructivos de obras de infraestructura del transporte urbano del Distrito Capital deberán prever el uso de materiales provenientes del aprovechamiento de llantas o neumáticos usados o llantas no conforme, en un porcentaje no inferior al 5% de metros cuadrados por cada contrato de obra, con excepción de aquellos que a la entrada en vigencia de la resolución tengan estudios y diseños aprobados. El porcentaje aumentará anualmente en cinco (5) unidades porcentuales y se espera que en unos años este porcentaje se incremente al 25%.⁴

⁴ Régimen Legal de Bogotá D.C, Resolución 6981 de 2011 Secretaría Distrital de Movilidad – Secretaría Distrital de Ambiente. Artículo 4°. – Programa piloto para el aprovechamiento de llantas y neumáticos).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad del comportamiento y costos de la implementación de grano de caucho reciclado para la fabricación de mezcla asfáltica

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los factores que elevan los costos de la mezcla de asfalto con grano de caucho reciclado desde la obtención de la llanta hasta la conformación del asfalto caucho.
- Comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado y mezcla asfáltica convencional.
- Identificar las ventajas y desventajas de la implementación de grano de caucho reciclado en la mezcla asfáltica.

5. ANTECEDENTES

El presente estudio describe una alternativa para aprovechar las llantas desechadas de vehículos, que generalmente van a parar a botaderos, escombreras, quebradas, terrenos baldíos o simplemente en las calles; se sintetiza las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales de utilizar el grano de llanta molido como modificador de asfalto y/o mezclas asfálticas, haciendo énfasis en su uso en la ciudad de Bogotá proponiendo el reciclaje de este desecho sólido que mediante un proceso mecánico industrial se transformen en polvo como modificador para dichas mezclas. De esta manera, se benefician los habitantes en tres importantes aspectos como: ambiental, disminuyendo la contaminación producto de las llantas descartadas; movilidad, mejorando y alargando la vida útil de las vías de la ciudad y finalmente social, generando fuentes de empleo directos e indirectos en la ciudad de Bogotá.

La llanta proveniente de neumáticos usados es tal vez uno de los elementos que más se desechan en el mundo. Aproximadamente 300 millones de llantas de neumáticos son desechadas anualmente en los Estados Unidos “En Brasil se producen anualmente cerca de 45 millones de llantas, de las cuales 30 millones son desechadas”. “En Brasil existen aproximadamente 900 millones de neumáticos colocados de manera inapropiada en el medio ambiente. Para el caso de México se estima que anualmente se desechan unos 25 millones de llantas con un peso aproximado de 250 mil toneladas. Este valor equivale a ($\frac{1}{4}$ neu/hab/año).⁵

Ilustración 2: ACUMULACIÓN DE LLANTAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ



Fuente: Propia

Se aprecia que los empleados del servicio de aseo público no recogen las llantas.

⁵ MAGALHAES, J. y SOARES, J. The Effect of Crumb Rubber Gradation and Binder-Rubber Interaction Time on the Mechanical Properties of Asphalts-Rubber Mixtures. Citado por RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander. Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta: estado del conocimiento de asfaltos modificados en Colombia y su influencia en la pavimentación, 2011.

5.1 ALCALDÍA LOCAL LANZA CAMPAÑA DE RECOLECCIÓN DE LLANTAS

Desde la alcaldía se desarrollaron acciones como el comparendo ambiental, que va desde 250 mil pesos en adelante, según la infracción y también se apoyaron en la Ley 232 que establece las normas que los establecimientos deben cumplir aseguró la alcaldesa local Diana Calderón Robles.

De esta manera se realiza un proceso de sensibilización sobre el uso y recolección, previo a las jornadas de sanción a las personas infractoras propuestas a partir del 20 de junio. Por este motivo la alcaldía local dispuso un centro de acopio, en un terreno baldío ubicado en la Carrera 80 con Av. Bosa.

Este “cementerio de llantas” dispuesto por la alcaldía para que las personas depositen los neumáticos que ya no utilizan, será limpiado el próximo 24 de junio cuando la alcaldía con el apoyo del programa Rueda Verde las recoja y lleve a los centros que existen en el distrito para su reciclaje.

Estas llantas se utilizan para el triturado y la inclusión en los pavimentos debido a que se está aplicando la normativa ambiental que dicta que para su composición se debe utilizar cierto porcentaje de caucho reciclado⁶.

Ilustración 3: Aprovechamiento de llantas usadas en la cadena de gestión (% en Toneladas)



Fuente: Elaboración propia, datos tomados del Instituto de Desarrollo Urbano, 2012.

⁶ ALCALDÍA LOCAL DE BOSÁ. Alcaldía local lanza campaña de recolección de llantas. [en línea] (7 junio de 2015). Disponible en: <<http://bosa.gov.co/index.php/noticias/224-alcaldia-local-lanza-campana-de-recoleccion-de-llanta>> [citado 10 de febrero de 2016]

De esta manera se distribuye el aprovechamiento de llantas usadas en la cadena de gestión y uso para el caso Bogotá D.C. (DAMA. 2012): El 17 % son utilizadas para reencauche, el 2,3 para regrabado, 72% uso energético ,6% para uso artesanal y el 2% para otros usos.

Ilustración 4: Proceso de fabricación de la mezcla asfalto-caucho (vía seca).



Fuente: www.idu.gov.co/otros_serv/mejoras_mecanicas.htm

Una de las desventajas de la técnica por vía seca es el aumento del costo inicial de la mezcla porque se requiere la utilización de nuevos equipos en planta como la unidad de mezclado y un tanque de almacenamiento adicional para el aglutinante (bitumen) del asfalto caucho, cambio de bombas por ser la mezcla más viscosa y abrasiva, tuberías y la instalación del equipo necesario para el mezclado; por vía seca el tiempo de compactación es mucho mayor y exige mayor cantidad de ligante asfáltico, siendo el proceso seco más económico que el proceso húmedo. El mejor comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas es realizado por vía húmeda, y es calificado como aceptable y desastroso cuando es realizado por vía seca y la capacidad del GCR para mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas depende del tipo de técnica utilizado, naturaleza, tiempo, temperatura de mezclado entre el ligante y el GCR, porcentaje y tamaño de las partículas.⁷

⁷ RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander. Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (Gcr): estado del conocimiento y análisis de utilización en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Bogotá, 2011.

De acuerdo con el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Universidad de Los Andes (Bogotá, 2002), los métodos utilizados hoy en día para el aprovechamiento de las llantas recicladas son:

- Trituración mecánica o método de granulación a temperatura ambiente, proceso meramente mecánico sin ninguna emisión al medio ambiente con trituradoras que dejan como resultado un grano de caucho capaz de pasar el tamiz N°30 (ensayo de granulometría por cribado) separando y clasificando los metales y otros residuos.
- Trituración criogénica empleando nitrógeno líquido congelando los trozos de neumático para cristalizarlos facilitando su trituración, pero se elevan los costos en las instalaciones necesarias para este proceso por lo tanto es poco rentable.

Son sistemas de obtención del grano de caucho bastante complejos y clasificando el proceso de trituración criogénico menos efectivo que el caucho triturado mecánicamente, y la producción del mismo se registran niveles de emisiones contaminantes menores a los permitidos⁸.

El propósito principal de la investigación se centró en determinar el efecto en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica. Según lo observado en el análisis de los ensayos de laboratorio, presenta un menor ahuellamiento cuando se adiciona desperdicio de llanta usada en las formas de polvo y fibra, alcanzando hasta un descenso en deformación del orden del 23%. De otra parte, analizada la resistencia (estabilidad) para los niveles de energía de 50 golpes por cara, se incrementa al adicionar desperdicio en todas las formas para los porcentajes de 0.15%, 0.3% y 0.6%. Para el nivel de energía de 75 golpes, los incrementos se obtuvieron para las adiciones de fibra a porcentajes de 0.15, 0.3 y 0.45%. Se resalta que para la adición de polvo, existe un descenso de la estabilidad para los porcentajes de 0.15, 0.3 y 0.45%. Por último, se determinó que al mezclar el material de desperdicio en las proporciones 50% de polvo y 50% en fibra, los resultados en los ensayos de ahuellamiento, no fueron favorables, encontrándose incrementos en la deformación hasta de un 33%.⁹

⁸ RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander. Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (Gcr): estado del conocimiento y análisis de utilización en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Bogotá, 2011.

⁹ REYES, Oscar y CAMACHO, Javier. Incidencia en el Ahuellamiento y Propiedades Mecánicas de una Mezcla Asfáltica por la Adición de Desperdicio de Llanta Usada. Ingeniería y Competitividad, Vol. 6, p.46-55: Bogotá. 2004.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 MEZCLA ASFÁLTICA CON TRITURADO DE LLANTA (GCR)

Es la utilización de grano de llanta molida, combinado con la mezcla asfáltica común, por distintos métodos, para la optimización de las vías y del medio ambiente con un pequeño déficit al nivel económico, que a la vez el factor económico vs el tiempo puede ser más rentable que una mezcla normal, sabiendo que dichos costos es probable que se puedan disminuir teniendo cuenta modificaciones a los factores que elevan el costo.

6.1.2 Métodos de obtención del (GCR)

Hay dos formas de obtención del (GCR), el método en caliente (húmedo) y el método seco. El método seco consiste en coger el triturado de llanta y mezclarlo con el asfalto común como un agregado fino el cual da resultados aceptables a malos. El método húmedo se obtiene al mezclar el triturado de llanta con el asfalto común y echarlo en un horno en el cual se cocina dando una mezcla homogénea con características diferentes.

6.1.3 Optimización de las vías con el (GCR)

La optimización vial se verá reflejada en la mayor duración de las vías, gracias a su mejoría en la característica plástica y elástica haciéndola más resistente a las deformaciones por cargas axiales y cortantes, gracias a su mayor adherencia disminuye el sonido que producen los vehículos por derrape entre las llantas y la vía.

6.1.4 Optimización del medio ambiente con el (GCR)

La optimización ambiental se verá reflejada tanto en la contaminación ambiental como la visual, ya que al reutilizarse las llantas que mantiene botadas por todos lados hará más agradable la visualización del ambiente y evita la contaminación del ambiente por los residuos de la descomposición de las mismas. La descomposición de una llanta supera los 30.000 años y su quema libera gases altamente nocivos para la salud.

6.1.5 Déficit a nivel económico con el (GCR)

Debido a los proceso para la elaboración del grano de llanta, se eleva mucho el costo ya que son muy pocas las plantas que realizan este proceso con la llanta haciendo que solo su fabricación y transporte genere un gran costo.

6.1.6 Mayor rentabilidad en costo vs tiempo con el (GCR)

Gracias a su mayor durabilidad hasta un 50% más que la común, hace que disminuya su costo en el tiempo, ya que cuando al (GCR) se le vaya a hacer un mantenimiento a la mezcla común ya se le habrán hecho 2. La calidad de conducción que la misma genera es por mucho superior a la mezcla común.

6.1.7 Disminución de costos del (GCR)

El costo que hace más representativo la elaboración del (GCR) es su producción y transporte, ya que son muy pocas las plantas que lo fabrican. Una forma de disminuir su costo es conseguir que plantas más cercanas fabriquen este producto, para evitar costos excesivos de transporte, así mismo haciendo más conocido dicho producto, más fábricas comenzaran a producirlo y gracias a la “guerra del centavo” disminuir los costos de fábrica.¹⁰

6.2 EMPRESAS QUE FABRICAN GCR

Existen actualmente varias empresas en Colombia dedicadas a la recolección, fabricación y venta del GCR, como RECICLER y dos más en la ciudad de Bogotá, como también en Bucaramanga, Yumbo, Girardota, Medellín, etc. Dos ejemplos de estas son:

6.2.1 Grupo Renova

Organización dedicada a la recuperación de materiales renovables y no renovables, entre ellos llantas usadas, mediante un proceso físico, mecánico de trituración, recuperando así componentes como metal, caucho y textil. Esta empresa cuenta con una planta de trituración ubicada en el parque industrial de Cazucá y cuenta con los servicios de recolección, clasificación primaria, proceso de reciclaje, y clasificación de materiales.

6.2.2 Mundo Limpio

Empresa creada en junio del 2007 cuya planta se encuentra ubicada en el municipio de El Carmen de Viboral, Antioquia, la cual desempeña labores de reciclaje de llantas, mediante procesos de trituración mecánica o criogenia, para así producir el polvo de caucho en diferentes granulometrías

¹⁰ ORTIZ, Anjhela Y TRIBILCOCK, Andrés. Propuesta de un plan de empresa para el diseño y la fabricación de productos a partir del reciclaje de llantas, de acuerdo a las disposiciones normadas de los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas en Bogotá: Proyecto económico administrativo. Bogotá, 2014, 90 h. Trabajo de grado (Tecnología industrial). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Tecnología Industrial.

7. MARCO LEGAL

LEY,DECRETO, NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Norma MG-IDU-007	HABLA SOBRE LAS NORMAS DEL ASFALTO COMBINADO CON CUALQUIER AGREGADO.	IDU (1998), normatividad sobre mezclas aptas para vías según su necesidad BOGOTA DC, COLOMBIA
Norma IDU 560-11	Esta Especificación hace referencia a la incorporación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto.	IDU (2011), normatividad sobre mezclas en caliente con caucho para vías BOGOTA DC, COLOMBIA
Norma IDU 510-11	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DENSAS, SEMIDENSA, GRUESAS, Y DE ALTO MÓDULO.	IDU(2011),normatividad elaboración, transporte colocación Y compactación de una o más capas de mezcla asfáltica BOGOTA DC, COLOMBIA
Norma I.N.V. E – 733 – 07	ESTE MÉTODO SE REFIERE A LA DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE ESPECÍMENES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS.	INVIAS (2011), normatividad únicamente con mezclas asfálticas con granulometría densa o que prácticamente no sean absorbentes. BOGOTA DC, COLOMBIA

8. DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo, debido a que se van a tomar datos de pruebas experimentales, con sus respectivas variables numéricas, y que son tomadas en cuenta para los comportamientos dinámicos de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado.

8.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo comparativa ya que se van a comparar módulos dinámicos, fatiga y deformación permanente; con el objetivo de obtener el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado y de la mezcla asfáltica convencional.

8.3 FASES DE INVESTIGACIÓN

FASE 1. Determinación de los factores que elevan los costos de la mezcla de asfalto con grano de caucho reciclado.

Actividades:

- Descripción de las etapas de la producción de mezclas de asfalto con grano de caucho reciclado.
- Determinar los factores que hacen que se eleven los costos en la utilización de grano de caucho reciclado en mezcla asfáltica.

FASE 2. Comparación del comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado y mezcla asfáltica convencional.

Actividades:

- Comparar los datos obtenidos de módulo dinámico, deformación plástica y módulo resiliente de una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado y mezcla asfáltica convencional.
- Establecer cuáles son los comportamientos mecánicos de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado.

FASE 3. Ventajas y desventajas de la implementación de grano de caucho reciclado en la mezcla asfáltica.

Actividades:

- De acuerdo a los datos obtenidos, se va determinar cuáles son las ventajas y desventajas de la implementación de grano de caucho en una mezcla asfáltica.
- Determinar las ventajas y beneficios ecológicos de la elaboración de la mezcla asfáltica con GCR.

8.4 INSTRUMENTOS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Toma de datos, suministrados por CENTRASA S.A, perteneciente AL GRUPO EMPRESARIAL LHS S.A.S

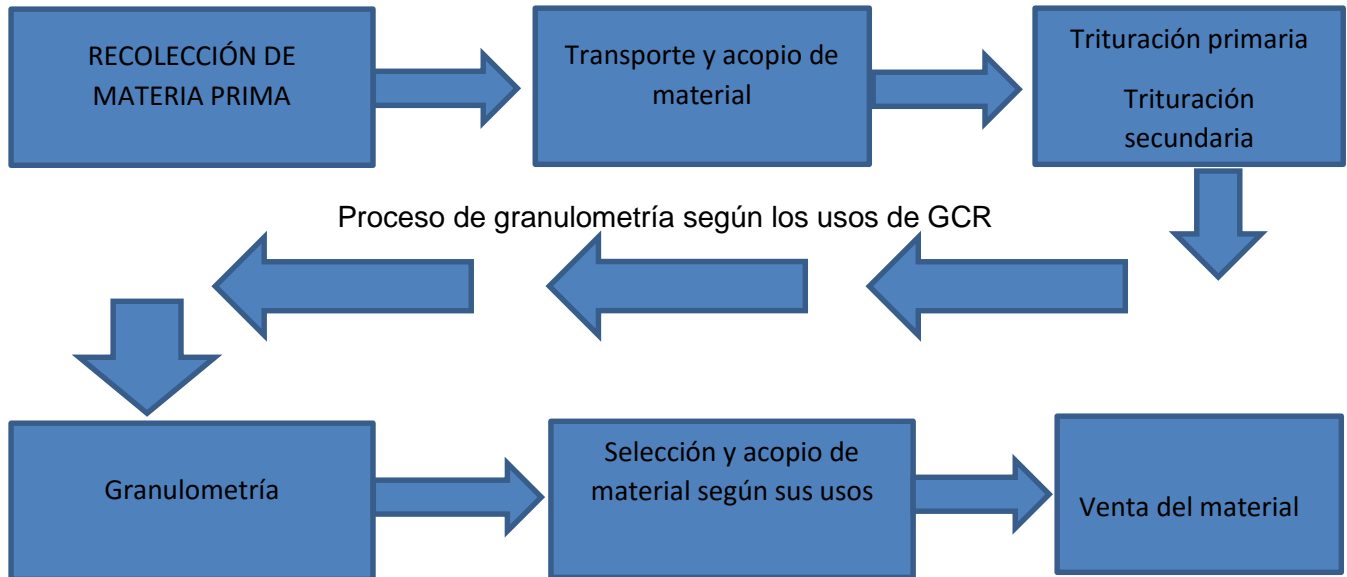
Cuadros comparativos e informes tomados del informe CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS – MÓDULOS DINÁMICOS, MEZCLAS TIPO MDC-1, MDC-2, MDC-12, MDC-20. Anexo 1, paginas 6, 7, 8,9.

Datos tomados del informe CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÓDULOS DINÁMICOS, MEZCLAS TIPO ASFALTO CAUCHO anexo 2, página 6.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS DE ASFALTO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.

Ilustración 5. Proceso industrial para la fabricación de Grano De Caucho Reciclado



Fuente: Elaboración propia

- En la primera etapa de la producción de Grano de caucho reciclado. se obtiene la materia prima por parte de recicladores, vendedores de llantas, servitecas y cualquier empresa que tengan llantas en desuso.
- Almacenamiento de las llantas y clasificación según tamaño de esta.
- Proceso industrial de triturado para la obtención de grano de caucho reciclado, se le separa el hierro, la lona y el caucho se procederá a la trituración primaria, trituración secundaria, tamizado y pulverización.
- Almacenamiento según los usos y tamaños del grano de caucho reciclado.
- Venta del producto en planta.

9.1.1 Determinación de los factores que elevan los costos de la mezcla de asfalto con grano de caucho reciclado.

El costo del Grano de Caucho Reciclado –GCR Mezcla Asfáltica Modificada con Grano de Caucho Reciclado (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación) Unidad de Medida: M3 Valor Unitario Total: 945.417 pesos aproximadamente, este valor es elevado debido a que se está implementando una nueva tecnología, sin embargo puede ser mucho menor ya que el costo del asfalto como tal es de solo \$1.780 pesos por Kg puesto en planta de mezcla en Bogotá, los costos adicionales son por producción e instalación.

Teniendo en cuenta este valor, los factores que elevan los costos son los siguientes:

9.1.1.2 Obtención de la materia prima

La obtención de la materia prima proviene de las llantas en desuso, que se compran a recicladores, servitecas y demás empresas que vendan las llantas.

9.1.1.3 Proceso industrial para la obtención de GCR

Todos los procesos en el cual se va obtener un material final y que pasan por un proceso industrial tienen una variable de costos significativa; este quiere decir que para transformar un producto se tienen que hacer muchos procesos los cuales generan gastos energéticos, gastos de mano de obra y gastos en recolección y transporte de ellos, esto hace que sean costosos en el momento de la compra del material.

9.1.1.4 Falta de competitividad del producto

Debido a que existen varias empresas que fabrican el GCR, actualmente el precio de este está a la baja, ya que por el número de empresas que lo producen hay poca demanda del producto, no hay una competencia o más puntos de fabricación de este, debido a que las máquinas de trituración para la elaboración tienen unos costos significativos.

9.1.1.5 Transporte de la mezcla

La mezcla se transporta de la planta central a la obra en volquetas carpadas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si el Interventor considera que existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de una manera tan apropiada como en horas de luz solar. Si el Constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno, y deberá poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando

únicamente durante las horas de luz solar. Se deberán tomar las precauciones necesarias durante el transporte de la mezcla para que al descargarla sobre la máquina pavimentadora su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación o a la que, en su ausencia, determine el Interventor; Lo anteriormente mencionado se tiene básicamente como una recomendación, pero cabe aclarar que esto no debería ser un sobrecosto ya que la mezcla asfáltica con GCR se comporta igual que una mezcla convencional en cuanto a transporte, extendido y compactación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deberán limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deberán mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos, y sus cargas por eje y totales se deberán encontrar dentro de los límites fijados por las disposiciones legales vigentes al respecto. Si el Constructor dispone de una máquina para transferencia de la mezcla asfáltica (shuttle buggy), la volqueta descargará la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se encargarán de alimentar la pavimentadora, sin que ésta sea tocada por las llantas de la volqueta, favoreciendo de esta manera la regularidad superficial.

Tanto los agregados pétreos como las mezclas asfálticas en caliente se transportarán en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin. Cuando vaya a transportar mezcla, la superficie interna del platón deberá ser tratada, con el fin de evitar la adherencia de la mezcla a ella, empleando un producto cuya composición y cantidad deberán ser aprobadas por el Interventor. La forma y altura del platón deberán ser tales, que durante el vertido de la mezcla a la máquina pavimentadora de asfalto, la volqueta sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello. Las volquetas deberán estar siempre provistas de una lona o cobertor adecuado, debidamente asegurado, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir derrames. En relación con las volquetas, el Constructor deberá tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y medio ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio del Transporte (MT), la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) y la Secretaría Distrital de Medio Ambiente (SDMA). Todos los vehículos para el transporte de materiales deberán cumplir con las disposiciones legales referentes al control de la contaminación ambiental. Ningún vehículo de los utilizados por el Constructor para el transporte del material podrá exceder las dimensiones y las cargas admisibles por eje y totales fijadas por las disposiciones legales vigentes.

9.1.1.6 Tarifa de transporte

Se define que tarifa se cobrará por M3-KM, M3, TON o VIAJE según sea su localización de reparto y de la planta, según el cliente con el que se va a trabajar y lo que estipule la gobernación, interventoría y el instituto nacional de vías para la zona en que se va a intervenir.

9.2 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO Y MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

9.2.1 Proceso por vía seca

El GCR es adicionado a los agregados antes de ser mezclados con el cemento asfáltico.

De acuerdo a investigaciones realizadas se determinan las siguientes ventajas:

Al mejorar la mezcla asfáltica, se produce:

- Mayor resistencia a la fatiga
- Mejor adherencia neumático-pavimento.
- Menor reflejo de luz.
- Disminuye ruido contacto neumático-pavimento.
- No requiere cambios significativos en planta.

Variables de entrada:

- Tipo de granulometría, MDC-1 y MDC-2
- Porcentaje de GCR: 1 y 2%.

Variables iniciales de respuesta:

- Estabilidad y Flujo Marshall.
- Comportamiento dinámico

Contenido óptimo de ligante:

- Contenido de vacíos con aire, 5%.
- Estabilidad y Flujo Marshall.

Contenido óptimo de GCR:

Módulos Dinámicos.

- Ensayos de deformación permanente WTT.
- Ensayos de Fatiga. (Laboratorio y carrusel)

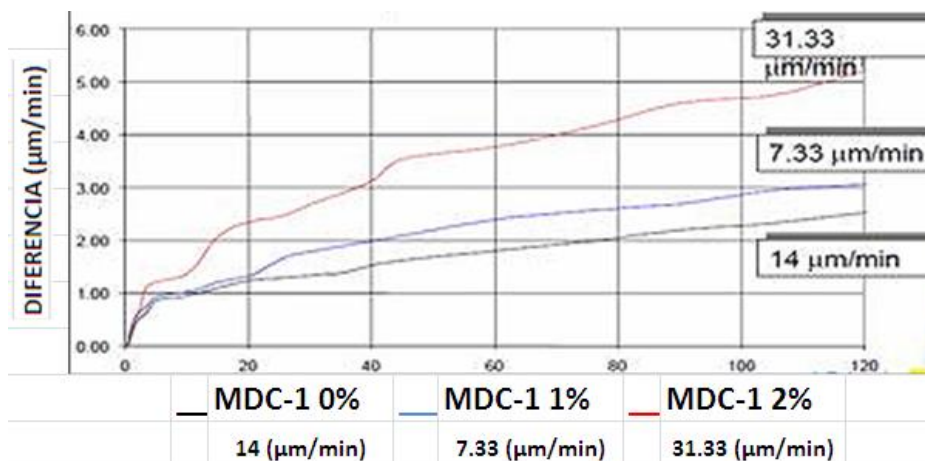
Tabla 1: Contenido de óptimo ligante-diseño Marshall

Ensayo	Vacíos con aire mezcla asfáltica	Porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad	Flujo	Peso unitario	Vacíos en los áridos minerales
	(%)	(%)	(Kg)	(mm)	g/cm ³	(%)
NORMA	INVE-736	-----	INVE-748	INVE-748	INVE-733	-----
Especificación	4-6	---	Min. 750	2-3,5	-	Min. 14
MDC-1 0 %	5	4,7	1796	2,5	2,18	21,1
MDC-1 1 %	5	5,7	898	3,1	2,07	26,5
MDC-1 2 %	5	5,8	1012	3,6	2,09	26,8
Especificación	4-6	-----	Min. 750	2-3,5	-	Min. 14
MDC-2 0 %	5	4,7	1796	2,5	2,18	21,1
MDC-2 1 %	5	5,7	898	3,1	2,07	26,5
MDC-2 2 %	5	5,8	1012	3,6	2,09	26,8

Fuente: Mezclas asfálticas modificadas con *Grano de Caucho Reciclado (GCR)* Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico del IDU.

Con base en los resultados presentados en la tabla 1, se puede apreciar que en las mezclas tipo MDC-2 aumenta considerablemente el porcentaje de asfalto óptimo, aumenta la estabilidad Marshall, el flujo Marshall no se afecta considerablemente, el peso unitario compacto aumenta y los vacíos en agregados en la estructura mineral no se ven afectados.

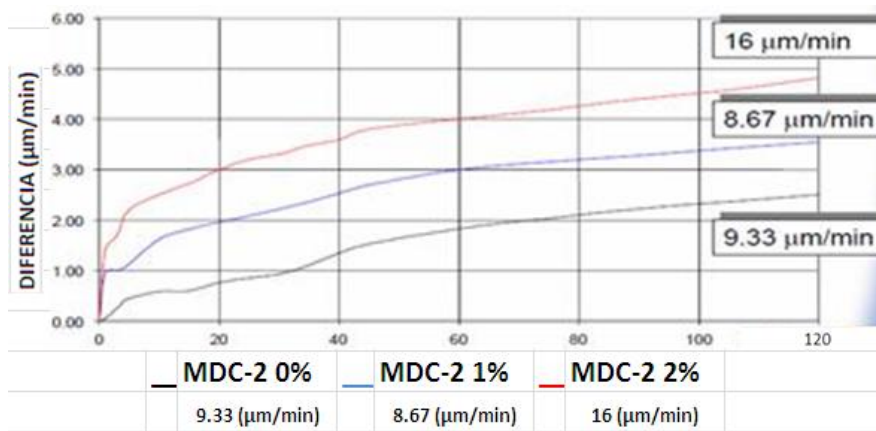
ILUSTRACIÓN 6: DEFORMACION PLASTICA MDC-1



Fuente: Mezclas asfálticas modificadas con *Grano de Caucho Reciclado (GCR)* Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico del IDU

A medida que incrementa el porcentaje de asfalto caucho en la mezcla tipo MDC-1, se puede apreciar que también aumenta la deformación de la mezcla, lo cual sugiere revisar la granulometría para este tipo de mezclas.

ILUSTRACIÓN 7: DEFORMACION PLASTICA MDC-2



Fuente: Mezclas asfálticas modificadas con *Grano de Caucho Reciclado (GCR)* Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico del IDU

Con respecto a la mezcla tipo MDC-1, se puede apreciar que la deformación alcanzada por la mezcla tipo MDC-2 es inferior tanto al 1% como al 2%; incluso sin la adición del asfalto caucho, lo cual podría indicar que tanto la mezcla tipo MDC-1, como la MDC-2 no proveen una estructura adecuada para este tipo de mezclas.

9.2.2 Proceso por vía húmeda

El GCR es adicionado al cemento asfáltico produciendo una mezcla modificada llamada asfalto-caucho usada de igual manera como un ligante modificado.

Al modificar el ligante con GCR se logra mejorar:

- La resistencia al envejecimiento.
- El comportamiento elástico, aportando flexibilidad.
- La susceptibilidad térmica.
- La durabilidad ante agentes agresores.
- La resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.

Variables de entrada:

- Tipo de ligante: Apiay y Barrancabermeja.
- Porcentaje de GCR: 10, 13, 15 y 20.
- Temperatura de mezclado (°C): 155 y 165.
- Tiempo de reacción (min) : 45, 50, 55, 60, 70 y 80
- Energía de agitación: 100 rpm

Variable de respuesta

- Viscosidad Brookfield a 163°C

9.2.3 Conclusiones y recomendaciones

A.- Generales:

- El GCR mejora las características de los materiales.
- Se logra mitigar el daño ambiental.

B.- En relación a la vía húmeda:

- El asfalto CIB presenta mejores logros.
- No se requieren condiciones severas de adición.
- Exige el estudio de la granulometría.
- Implica hacer ajustes al sistema productivo.
- Mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, disminuyendo los módulos dinámicos.

C.- Con respecto a la vía seca

- No requiere ajustes tecnológicos en planta.
- Se pueden emplear husos granulométricos INV.
- MDC-2, con 1% de GCR, mejores resultados.
- Contenido de GCR obedece a criterios dinámicos.
- Prolongar la compactación.

- No emplear neumáticos.
- Baja adherencia y poca resistencia.

9.2.4 Análisis comparativo del módulo dinámico de mezclas asfálticas convencionales con mezclas asfalto-caucho por vía húmeda.

Para realizar el análisis comparativo entre las mezclas asfálticas convencionales como la mezcla tipo MDC-1 y la mezcla tipo MDC-2 con la mezcla con asfalto caucho, se tuvieron en cuenta resultados de pruebas dinámicas como el módulo dinámico a varias temperaturas y frecuencias, esta prueba se realiza con el fin de conocer la resistencia del material (modulo del material) sometándose a diferentes temperaturas y frecuencias de cargas definiendo las propiedades elásticas del mismo, este ensayo puede ser con una carga uniaxial o triaxial de compresión o tensión, a temperaturas mínimas de 5, 25 y 40°C, también se consideraron pruebas de deformación plástica permanente y algunos de diseño Marshall.

Teniendo en cuenta de que se evaluó una mezcla tipo GG-1 (Gap Graded) ya que las mezclas asfalto-caucho por vía húmeda no se pueden fabricar con gradaciones densas.

Tabla 2: Resultados prueba de módulo resiliente mezcla tipo MDC-1

BRIQUETA	TEMP. (°C)	FREC. (Hz)	Módulo promedio (Mpa)	Densidad (kg/m3)
5	15	10	7498	2198
5	15	5	7275	
5	15	2.5	7310	
3	25	10	4870	2207
3	25	5	3836	
3	25	2.5	2994	
*	35	10	1700	*
*	35	5	1350	
*	35	2.5	1000	
5	40	10	874	2198
5	40	5	799	
5	40	2.5	555	

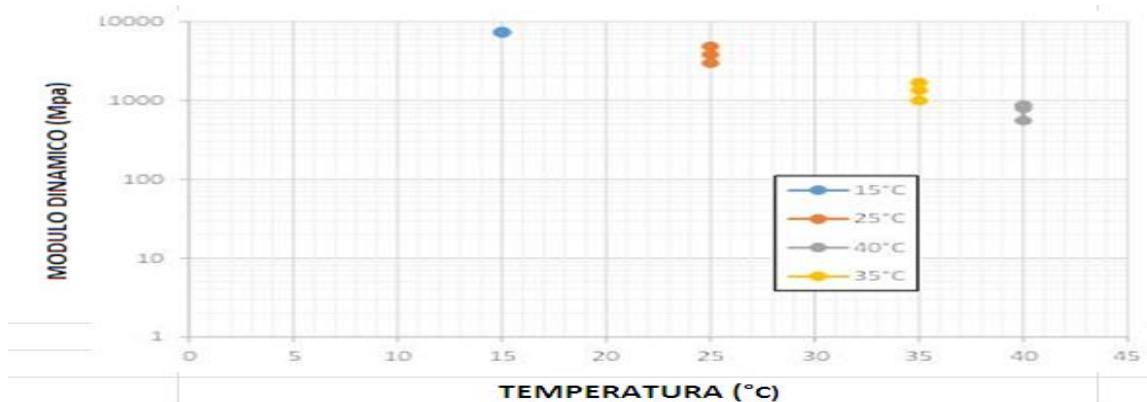
Fuente: Tabla tomada del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezcla tipo MDC -1. Anexo 1- tabla -2 página 6.

Estas comparaciones no se realizaron siempre a la misma temperatura, se tomaron graficas aparte con los datos de temperaturas similares y se hizo una interpolación para poder llegar a un resultado y poder comprar los comportamientos mecánicos de las mezclas, ya que a la hora de obtener los

datos, se contaba solo con los diseños como tal de las respectivas mezclas. El asterisco (*) hace referencia a una interpolación para la obtención de datos a la misma temperatura de 35°C.

La mezcla MDC-2 a bajas temperaturas se comporta mejor a esfuerzos triaxiales, tanto horizontal como vertical, hasta esfuerzos torsionales, a frecuencias altas (giros de llantas), y a menor temperatura estos esfuerzos aumentan con frecuencias altas, cuando se someten este tipo de mezclas a altas temperaturas con repeticiones lentas (frecuencias bajas) obtenemos módulos de capacidad de resistencia en la mezcla muy bajas ante los esfuerzos que se presentan internamente en la mezcla aumentando su elasticidad.

Ilustración 8: Módulo resiliente en función de la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-1

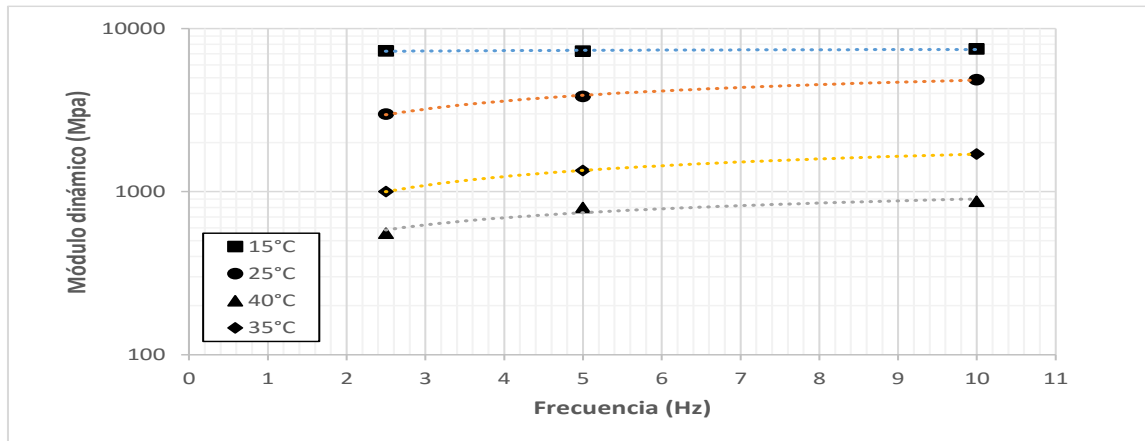


Fuente: ilustración tomada del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezcla tipo MDC-1

Modulo dinámico (Mpa) en función de la temperatura (°C), cada color designa una temperatura diferente, a menor temperatura mayor módulo.

Cuando la mezcla está sometida a altas temperaturas es más probable que se separen sus componentes por ende los módulos resilientes son bajos, como denota la ilustración 7, que al ser sometida a una temperatura mayor de 40°C se tiene una respuesta a la resistencia de los esfuerzos que sufre la mezcla siendo la más baja.

Ilustración 9: Módulo dinámico en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-1



Fuente: Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezcla tipo MDC-1

El módulo dinámico tiende a ser constante con cada aumento de frecuencia a una temperatura de 15°C, con una frecuencia de 2.5 Hz a una temperatura de 25°C, el modulo tiende a ser menor, y con cada aumento de frecuencia el modulo tiende a ser mayor y su comportamiento es igual cada que se aumenta la temperatura.

Cuando la mezcla es sometida a frecuencias altas, su resistencia es mucho mayor, la ilustración 14 describe para una temperatura mínima de 15°C que no afecta a la resistencia de los esfuerzos al cual es sometida la mezcla solida del pavimento a 3 diferentes frecuencias utilizadas en el ensayo siendo visualmente constante a diferencia de la muestra que es sometida a una temperatura mayor, en este caso de 40°C siendo afectada a frecuencias mínimas aumentando el ahuellamiento cuando es sometida a repeticiones de carga lenta y un aumento a la resistencia con cada aumento de repeticiones, se puede concluir de este tipo de mezcla densa en caliente, que en regiones en donde la temperatura es baja la frecuencia no es tan importante para llegar a una falla de la misma como lo muestra en la ilustración que se conserva su resistencia siendo sometida a 3 diferentes frecuencias, pero en temperaturas altas la frecuencia si empieza a intervenir notablemente con la respuesta al módulo resiliente.

El módulo resiliente es mucho más alto cada que la frecuencia aumenta y es mucho más bajo afectando la capacidad portante de la mezcla cuando el número de repeticiones de carga es más lento a temperaturas más altas.

Tabla 3: Resultados prueba de módulo resiliente mezcla tipo MDC-2

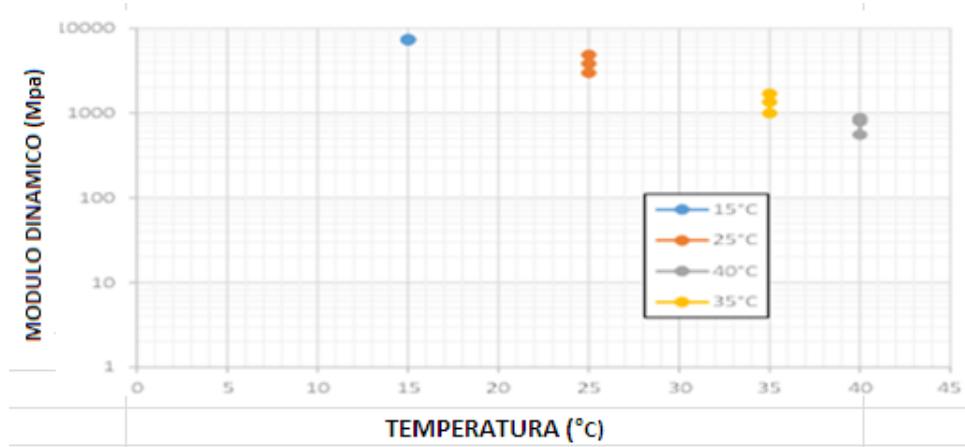
BRIQUETA	TEMP. (°C)	FRECUENCIA (Hz)	Módulo promedio (Mpa)	Densidad (kg/m ³)
10	15	10	9138	2134
10	15	5	8208	
10	15	2.5	6718	
10	25	10	3586	2134
10	25	5	2758	
10	25	2.5	2038	
*	35	10	1100	
*	35	5	820	
*	35	2.5	550	
10	40	10	628	2134
10	40	5	429	
10	40	2.5	307	

Fuente: Tabla tomada del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezcla tipo MDC -2. Anexo 1 tabla 3.

Las propiedades conservan un patrón en su comportamiento, utilizando la misma frecuencia a igual temperatura el modulo promedio tiende a disminuir notablemente con cada aumento de la temperatura disminuyendo la frecuencia.

Este tipo de mezcla densa en caliente tipo MDC-2 a diferencia de la anteriormente analizada tipo MDC-1 tiene más contenido de asfalto, y es de granulometría más fina, se analiza para su comparación sometiéndola a la misma temperatura e igual frecuencia , dando como resultado módulos resilientes mucho ,más altos que la mezcla tipo MDC-1, porque al tener más porcentaje de asfalto estos reaccionan diferente mezclándose entre sí más homogéneamente, pero al ser sometida a temperaturas altas como describe la tabla 3 A una temperatura de 40°C al contener un porcentaje mayor de asfalto los módulos bajan con respecto a la mezcla tipo MDC-1, volviéndose más elástica, lo que quiere decir que para altas temperaturas empieza a adquirir mucha más importancia el porcentaje contenido de asfalto y este mismo aumentando su rigidez a temperaturas más bajas como lo indica el módulo dinámico descrito en la tabla.

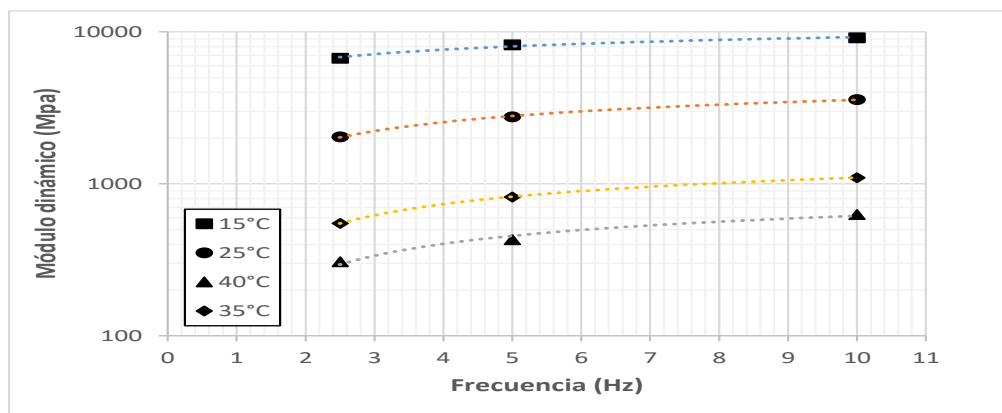
Ilustración 10: Módulo resiliente en función de la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-2



Fuente: Ilustración tomada del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezcla tipo MDC-2. Anexo 1 página 8.

Con respecto a la ilustración 9 de la mezcla tipo MDC-2 el modulo es mucho más alto a bajas temperaturas (15°C) soportando más esfuerzos, es mucho más rígida siendo menos elástica, y a altas temperaturas (40°C) es mucho más baja en comparación con la mezcla tipo MDC-1. A mayor temperatura menor modulo y a menor temperatura mayor modulo.

Ilustración 11: Módulo dinámico en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-2.



Fuente: Ilustración tomada del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezcla tipo MDC-2. Anexo 1 página 8.

Se presenta una similitud al módulo resiliente correspondiente a la mezcla tipo MDC-1, su comportamiento es igual, con la diferencia de que con una temperatura de 15°C y 2.5 Hz no se vuelve constante y con cada aumento de temperatura

sometida a la misma frecuencia el modulo tiende a ser menor, pero con el mismo comportamiento de aumentar con cada aumento de frecuencia.

Analizando la ilustración 10 Del módulo resiliente en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo MDC-2, la frecuencia empieza a ser importante por tener esta mezcla más contenido de asfalto mostrando un descenso del módulo resiliente, se estiman aproximadamente 22kg mas de asfalto por m3, evidenciando una diferencia en comparación de la mezcla tipo MDC-1.

Se puede afirmar que para el módulo de la mezcla tipo MDC-1 al ser sometida a 15°C y a 3 diferentes frecuencias de 10, 5 y 2.5Hz este se mantiene constante con una mínima diferencia al aumento de frecuencia, en comparación de la mezcla tipo MDC-2 al ser sometida a una temperatura de 15°C el contenido de asfalto se empieza a afectar con cada disminución de frecuencia por ser una mezcla más elástica manifestando una diferencia mucho mayor en un rango de igual temperatura.

Tabla 4: Resultados prueba de Módulo de resiliente mezcla tipo Asfalto-caucho

BRIQUETA	TEMP. (°C)	FREC. (Hz)	Módulo Promedio (Mpa)	Densidad (kg/m3)
4	15,00	7,50	9027	2192
4	15,00	5,00	7415	
4	15,00	2,50	5947	
4	25,00	7,50	3748	2192
4	25,00	5,00	2624	
4	25,00	2,50	1383	
3	35,00	7,50	605	2155
3	35,00	5,00	534	
3	35,00	2,50	422	

Fuente: tabla tomada de Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezclas tipo asfalto-caucho. Anexo-2, tabla 4, página 6.

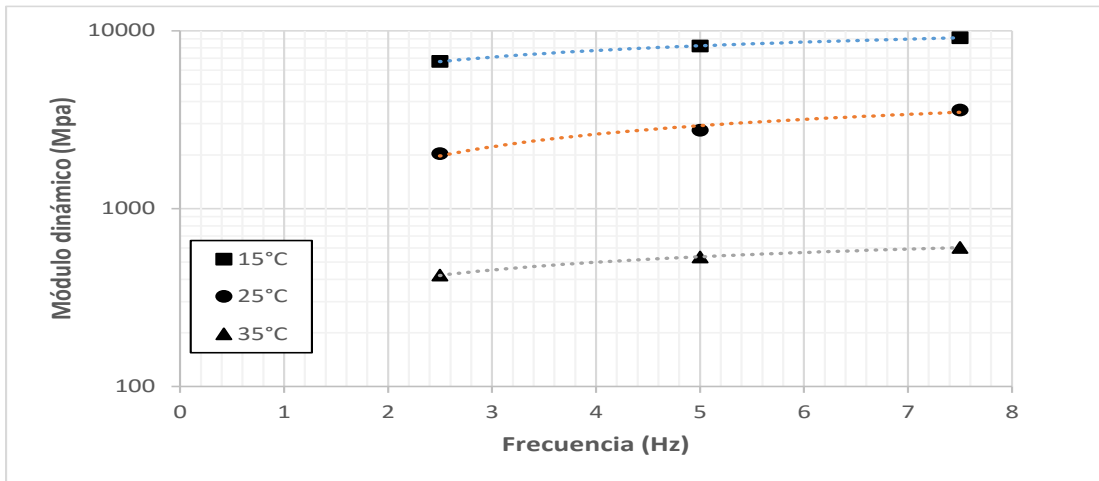
Para la obtención del módulo promedio de la mezcla con GCR, solo se tomó una temperatura de hasta 35°C hasta 7.5Hz a diferencia de la mezcla tipo MDC-1 y MDC-2 que se realizó hasta 10Hz, obteniendo un módulo promedio muy similar al módulo promedio de la mezcla tipo MDC-2, pero el comportamiento que sufre esta

mezcla tipo asfalto-caucho a 7.5Hz, la mezcla tipo MDC-2 lo sufre a los 10Hz, con un porcentaje estimado de un 19% de GCR.

Para el análisis de los resultados arrojados de la prueba de módulo resiliente de la mezcla tipo asfalto-caucho se afirma una resistencia mayor en comparación a la mezcla tipo MDC-2, ya que para la mezcla tipo asfalto-caucho se utilizaron frecuencias de 2.5Hz hasta 7.5Hz obteniendo un módulo promedio muy similar al módulo promedio de la mezcla tipo MDC-2 para frecuencias de 2.5 y 5Hz, y con una temperatura de 15°C y una frecuencia de 7.5Hz para la mezcla con GCR, una similitud con la mezcla tipo MDC-2 a igual temperatura pero sometida a una frecuencia de 10Hz, siendo mucho más alto el módulo de la mezcla con grano de caucho reciclado.

Este tipo de mezcla contiene mucho más porcentaje de asfalto que las mezclas tipo MDC-2, por tal motivo que para altas temperaturas y bajas frecuencias el módulo resiliente se ve afectado y tiende a disminuir mucho más que el de las mezclas tipo MDC-2, recordando que el porcentaje de GCR utilizado en esta mezcla fue del 19%, por ende a mayores temperaturas su comportamiento tiende a ser desfavorable en comparación de las mezclas convencionales que tienen menos porcentaje de asfalto, por esta razón es recomendable el enfoque en el cuidado del porcentaje de GCR que se va a agregar a la mezcla ya que este actúa como ligante en el asfalto dependiendo también de la región en donde se piensa utilizar ya que a mayores temperaturas se debe disminuir el porcentaje de GCR para evitar una mayor elasticidad y a menores temperaturas un aumento de este porcentaje para aumentar la capacidad portante.

Ilustración 12: Módulo dinámico en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo asfalto caucho.

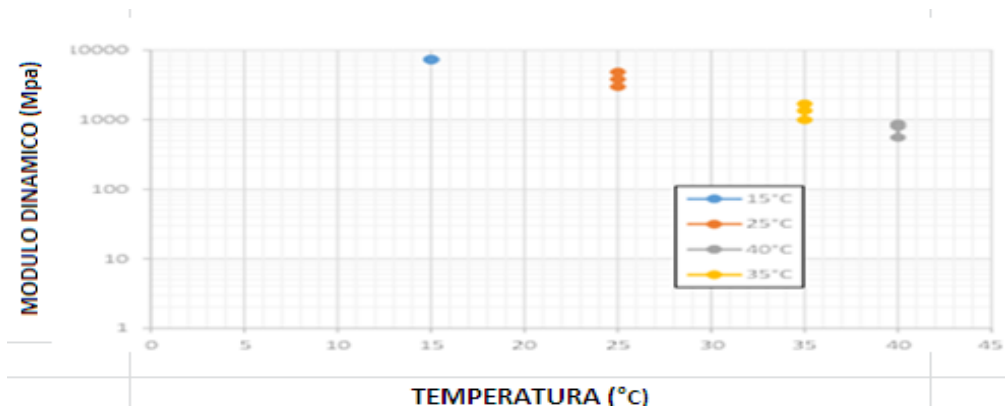


Fuente: Ilustración tomada del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezclas tipo asfalto caucho. Anexo 2 pagina 7.

Se conserva el mismo patrón, a mayor frecuencia mayor modulo y a mayor temperatura menor modulo.

Por el contenido de asfalto la mezcla se vuelve susceptible a bajas representativas del módulo resiliente, como se puede observar para la mezcla tipo MDC-1, es lineal, para esta mezcla modificada con grano de caucho reciclado presenta estas características y aparición de ahuellamiento por el contenido de asfalto muy similar a la mezcla tipo MDC-2.

Ilustración 13: Módulo resiliente en función de la frecuencia y la temperatura correspondiente a la mezcla tipo asfalto caucho.



Fuente: Datos tomados del Informe caracterización de mezclas asfálticas- módulos dinámicos mezclas tipo asfalto caucho. Anexo 2.

A menor temperatura mayor modulo, se describe una similitud al comportamiento de la mezcla tipo MDC-2, obteniendo bajas representativas cada vez que la temperatura aumenta y mostrando una mayor resistencia al ser sometida a una baja temperatura (15°C) aumentando el módulo de resiliencia.

Tabla 5: Estimación del módulo a 7.5 Hz mezcla tipo MDC-1

BRIQUETA	TEMP. (°C)	FREC. (Hz)	Módulo promedio (Mpa)	Densidad (kg/m3)
5	15	7.5	7416	2198
5	15	5	7275	
5	15	2.5	7310	
3	25	7.5	4449	2207
3	25	5	3836	
3	25	2.5	2994	
*	35	7.5	1555	*
*	35	5	1350	
*	35	2.5	1000	
5	40	7.5	836	2198
5	40	5	799	
5	40	2.5	555	

Fuente: Elaboración propia datos tomados del Anexo 1.

Se realiza un nuevo análisis para la mezcla tipo MDC-1 utilizando la misma frecuencia que se usó para la mezcla tipo asfalto-caucho de 7.5Hz, y a la misma temperatura, igualmente para la mezcla tipo MDC-2.

Para la estimación del módulo de la mezcla tipo MDC-1 a 7.5Hz, la mezcla tipo asfalto-caucho es mucho más resistente a bajas temperaturas a la misma frecuencia con una diferencia del módulo promedio (Mpa) de 1611 y para una temperatura de 35°C el módulo de la mezcla tipo asfalto-caucho es mucho más bajo pero teniendo en cuenta de que la mezcla tipo MDC-1 tiene menos porcentaje de asfalto.

Tabla 6: Estimación del módulo a 7.5 Hz mezcla tipo MDC-2

BRIQUETA	TEMP. (°C)	FRECUENCIA (Hz)	Módulo promedio (Mpa)	Densidad (kg/m3)
10	15	7.5	8729	2134
10	15	5	8208	
10	15	2.5	6718	
10	25	7.5	3247	2134
10	25	5	2758	
10	25	2.5	2038	
*	35	7.5	984	
*	35	5	820	
*	35	2.5	550	
10	40	7.5	549	2134
10	40	5	429	
10	40	2.5	307	

Fuente: Elaboración propia datos tomados del anexo 1.

Se realiza un nuevo análisis para la mezcla tipo MDC-2 utilizando la misma frecuencia que se usó para la mezcla tipo asfalto-caucho de 7.5Hz, y a la misma temperatura, igualmente para la mezcla tipo MDC-1.

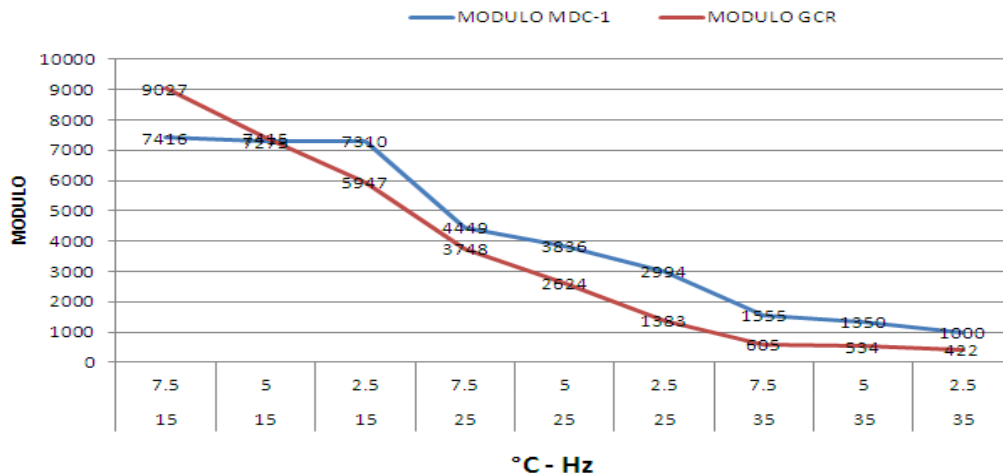
Igualmente se realiza una estimación para la mezcla tipo MDC-2 a 7.5Hz, afirmando también de que la mezcla tipo asfalto-caucho presenta una mayor resistencia con una diferencia del módulo promedio (Mpa) 298 por encima al ser sometidas a la misma frecuencia de 7.5Hz con una temperatura mínima de 15°C, y para una temperatura máxima de 35°C la diferencia es mínima aclarando de que la mezcla tipo asfalto-caucho contiene mucho más porcentaje de asfalto que la mezcla tipo MDC-2.

Tabla 7: Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-1 con mezcla asfalto caucho.

Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Mezcla MDC-1 Módulo (Mpa)	Mezcla con GCR Módulo (Mpa)	Porcentaje de reduccion GCR/MDC-1 (%)
15	7.5	7416	9027	121.7
15	5	7275	7415	101.9
15	2.5	7310	5947	81.3
25	7.5	4449	3748	84.2
25	5	3836	2624	68.4
25	2.5	2994	1383	46.1
35	7.5	1555	605	38.9
35	5	1350	534	39.5
35	2.5	1000	422	42.2

Fuente: Elaboración propia datos tomado del Anexo 1,2.

Ilustración 14: Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-1 con mezcla asfalto-caucho.



Fuente: Elaboración propia. Datos tomados de anexo 1,2.

Con base en los resultados presentados en la tabla 7 se puede apreciar que a los 15°C se presentan módulos mayores en la mezcla asfalto caucho a las frecuencias de 7.5 Hz y 5 Hz con respecto a la mezcla tipo MDC-1. En las demás temperaturas se aprecia una reducción del módulo en la mezcla asfalto caucho que aumenta progresivamente con el aumento de la temperatura.

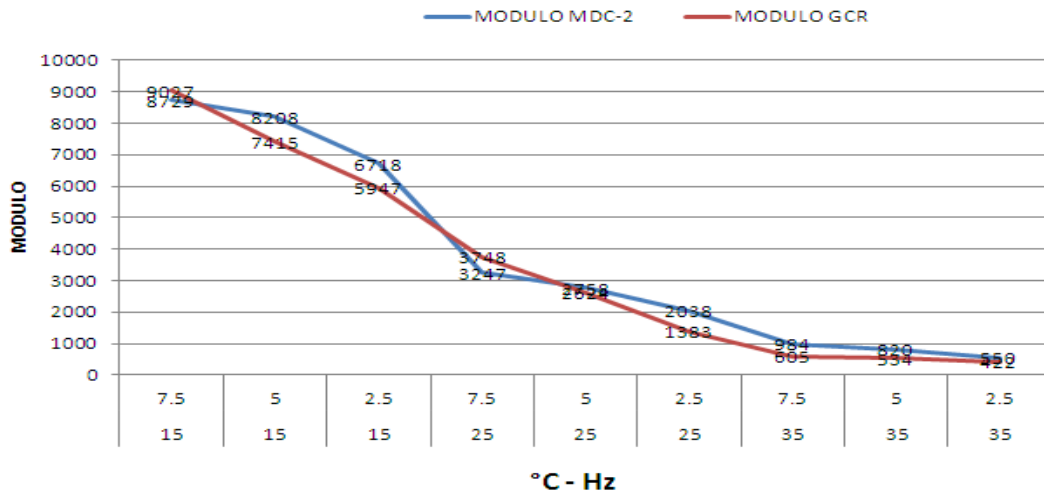
Analizando la comparación de módulos en la tabla 7 de la mezcla tipo MDC-1 con la mezcla tipo asfalto-caucho y la ilustración 19 la mezcla con grano de caucho reciclado es mucho más resistente a bajas temperaturas que la mezcla tipo MDC-1, pero es más plástica a altas temperaturas con menos repeticiones, pero existe un punto en donde los módulos coinciden a una temperatura mínima, en donde a partir de este punto el aumento de la temperatura favorece a la mezcla tipo MDC-1 siendo más resistente por la diferencia del contenido de asfalto.

Tabla 8: Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-2 con mezcla asfalto caucho

Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Mezcla MDC-2 Módulo (Mpa)	Mezcla con GCR Módulo (Mpa)	Porcentaje de reducción GCR/MDC-2 (%)
15	7.5	8729	9027	103,4
15	5	8208	7415	90,3
15	2.5	6718	5947	88,5
25	7.5	3247	3748	115,4
25	5	2758	2624	95,1
25	2.5	2038	1383	67,9
35	7.5	984	605	61,5
35	5	820	534	65,1
35	2.5	550	422	76,7

Fuente: Elaboración propia. Datos tomados del anexo 1, 2.

Ilustración 15: Comparación entre los módulos dinámicos de la mezcla MDC-2 con mezcla asfalto-caucho



Fuente: Elaboración propia.

El modulo es la pendiente entre esfuerzo y deformación, a mayor modulo, menor deformación, si se tiene un módulo mayor la resistencia a repeticiones de carga es mayor, y la deformación es menor.

En la mezcla MDC-2 se podría decir que los valores de módulo se conservan entre los 15°C y los 25°C, presentándose la disminución del módulo a los 35°C, disminuyéndose aún más con frecuencias más bajas.

Analizando los resultados de la comparación entre la mezcla tipo MDC-2 y la mezcla tipo asfalto-caucho de la tabla 8 Junto con la ilustración 20 son muy similares en cuanto a rigidez, teniendo en cuenta de que ambas mezclas contienen un alto porcentaje de asfalto, y en cierto modo los agregados finos de la mezcla tipo asfalto-caucho son reemplazados en una fracción por el grano de caucho reciclado, se nota un excelente comportamiento a bajas temperaturas, y a una temperatura media también sobrepasa la resistencia, teniendo en cuenta el porcentaje de GCR que se adhirió a la mezcla estimado de un 19%.

Dependiendo de la temperatura y densidades de los agregados se estima el porcentaje correcto de utilización de GCR, y entre más porcentaje de GCR se utilice, así mismo se deberá utilizar más asfalto para temperaturas bajas, para conseguir una mayor rigidez, obteniendo mejores características de recuperación, resistencia a repeticiones de carga, ahuellamiento y deformaciones; en temperaturas altas se debe utilizar menor porcentaje de GCR y por consiguiente se debe utilizar menos porcentaje de asfalto.

Tabla 9: Valores de parámetros Marshall de una mezcla tipo asfalto caucho

ASFALTO (%)	ESTABILIDAD (Kgf)	DENSIDAD (k/m3)	VAM (%)	VACIOS CON AIRE (%)	FLUJO (mm)	VELOCIDAD DE DEFORMACION (µm/min)
-----	Reportar	Reportar	Min 14	3-5	Min 2	20 máximo
7.3	914	2439	17.1	3.35	3.9	16.5

Fuente: Elaboración propia

La estabilidad es la capacidad de carga a una respuesta a esfuerzo vertical (Kgf), cuando la mezcla es sometida a un esfuerzo dinámico se genera una deformación. Teniendo en cuenta los resultados de la anterior tabla 9, la mezcla que se evaluó es de tipo GG-1 con adición de grano de caucho reciclado, que se diferencia a la mezcla de tipo MDC-2 en el tipo de asfalto y su granulometría, básicamente la mezcla de tipo GG-1 es utilizada para base asfáltica a diferencia de la MDC-2 que es la más utilizada para la capa de rodadura, como también el módulo dinámico de la mezcla tipo GG-1 es más bajo que el módulo de la mezcla tipo MDC-2 y el desempeño en cuanto a la fatiga es mejor que el desempeño de la mezcla tipo GG-1 siendo de degradación más gruesa que las mezclas densas.

Tabla 10: Valores de parámetros Marshall de una mezcla tipo MDC-2

ASFALTO (%)	ESTABILIDAD (Kgf)	DENSIDAD (k/m3)	VAM (%)	VACIOS CON AIRE (%)	FLUJO (mm)	VELOCIDAD DE DEFORMACION (µm/min)
-----	Reportar	Reportar	Min 14	3-5	Min 2	20 máximo
5.7	1450	2436	15.1	5.1	3.3	19.3

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a estabilidad (capacidad de carga vertical), es mucho más resistente la mezcla tipo MDC-2 en comparación de la mezcla tipo asfalto-caucho, ya que esta mezcla MDC-2 tiene más contenido de gravas y menos porcentaje de asfalto, siendo la mezcla mucho más rígida que la mezcla con GCR, siendo lógico que una mezcla densa en caliente tipo MDC-2 tenga más estabilidad que una mezcla modificada con grano de caucho reciclado (GCR).

Los resultados obtenidos para un diseño Marshall, determinan un 5.7% de asfalto para la mezcla tipo asfalto-caucho, lo cual es bastante coherente, porque al agregar caucho a la mezcla, esta comienza a sufrir cambios químicos y a volverse más seca perdiendo porcentaje de asfalto, y es normal que cuando se agrega

caucho a la mezcla el porcentaje de asfalto optimo aumente, recordando que el asfalto también es un lubricante dentro de la mezcla.

Para la mezcla tipo asfalto-caucho, aunque entra en los rangos, se pierde estabilidad, porque el material ligante se comporta perfectamente, y cada que se le agrega caucho a la mezcla se va volviendo más plástica, por tal motivo la estabilidad va disminuyendo.

El volumen total de la muestra normal esta en 15.1% para la mezcla tipo MDC-2 y con la adición de caucho, se esperaba que ese porcentaje aumentara, y efectivamente presenta un aumento del 2% dependiendo del tamaño del grano de caucho que fue utilizado.

Los vacíos con aire en teoría disminuyeron, dependiendo del tamaño y porcentaje utilizado de GCR, que son estas partículas quienes entran a ocupar estos espacios, el único resultado no esperado es el flujo, porque la mezcla modificada con GCR al ser sometida a ciertas temperaturas, se expande, entrando a ocupar estos vacíos, volviendo la mezcla más elástica y como resultado el flujo debería ser menor en la mezcla tipo asfalto-caucho que el flujo de la mezcla tipo MDC-2, sin embargo es razonable y lógico que el flujo aumentara ya que la estabilidad disminuye, por ser esta mezcla con GCR de características más elásticas, a comparación de la MDC-2 que no es tan plástica pero es más compacta, por tal motivo la estabilidad es mayor y el flujo disminuye.

9.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GRANO DE CAUCHO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA.

9.3.1 VENTAJAS

- La rodadura empleada con GCR, que, por su grano, aportan mucha rugosidad, esto es una textura superficial macrorugosa y corresponde básicamente al tipo de gradación utilizada que es de tipo Gap Graded y un buen comportamiento en caso de lluvia. La incorporación de GCR mejora las características del suelo e incrementa la resistencia a la fatiga, mejora la deformación permanente, con lo que aumenta su vida útil de aproximadamente 8 años.
- El GCR utilizado para el proceso húmedo mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo, hace que los módulos dinámicos disminuyan.
- Todas las obras en la que estén a cargo de INVÍAS, van a tener una valoración de calidad que entregará 100 puntos adicionales a aquellos proponentes que en la mezcla asfáltica utilicen el grano que se deriva de las llantas usadas.
- El grano reciclado en el cemento asfáltico actúa como un agente inhibidor del envejecimiento, prolongando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo.
- La mezcla al ser modificada se vuelve más flexible a bajas temperaturas y a altas temperaturas logra ser menor plástica.
- El negro de humo (componente de la llanta, 21%) proveniente del GCR, previene el desgaste por el roce llanta – pavimento, además refuerza el asfalto y disminuye la oxidación y el envejecimiento. Este componente se destaca por su acción específica contra el desgaste de las llantas al contacto con la superficie, permitiendo quintuplicar la duración de la llanta. Considerado como un antioxidante, este componente reduce el desgaste de la llanta al incrementar la durabilidad del caucho. En la mezcla asfáltica ha demostrado aumentar las propiedades de refuerzo del ligante y ayudar a disminuir su envejecimiento.
- El GCR da flexibilidad y mejora la susceptibilidad térmica, así como las propiedades mecánicas.

9.3.2 DESVENTAJAS

- El GCR utilizado para el proceso húmedo mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo, los módulos dinámicos disminuyeron, debido a la cantidad de asfalto que se involucra en la mezcla el cual está en este caso en 7.1%. sin embargo, estas mezclas por su gran resistencia a la fatiga se pueden llegar a disminuir espesores hasta en un 50%.
- El costo de fabricar este tipo de mezclas, supera al de las mezclas convencionales y modificadas.
- El proceso de fabricación de la mezcla repercute en mayores costos debido a que se incrementa la cantidad requerida de cemento asfáltico, así como se incrementan los tiempos de compactación en obra.
- El proceso de modificación por vía húmeda requiere de equipo adicional y cambio de bombas y tuberías, además de un incremento en la energía para calentar la mezcla con tiempos mayores de mezclado.

10. CONCLUSIONES

- ✓ Para la obtención de este tipo de mezcla de pavimento modificado, es necesario acudir a procesos adicionales para su fabricación desde la obtención de la llanta reciclada hasta el incorporar el grano de caucho a la mezcla para modificar su estructura, se hace necesario de un componente adicional al ciclo normal de la preparación de la mezcla que nos hacen elevar los costos desde el inicio, partiendo de las actividades internas realizadas por las empresas mencionadas quienes se encargan de la recolección de la llanta, su clasificación, almacenamiento y suministro a la segunda entidad quien se encarga de su criogenización, descomposición y trituración para la obtención de partículas específicas de caucho, y luego ser transportado al sitio en donde se encuentre la planta para su debido mezclado y conformación del asfalto-caucho.
- ✓ Se comprobó que uno de los factores que hacen elevar los costos de implementación del (GCR) a las mezclas asfálticas es el precio del asfalto ya que estas mezclas trabajan con mayor cantidad de asfalto-caucho; La mezcla que se usó para esta investigación suministrada por LHS CENTRASA contiene 7.3% de asfalto-caucho, la mezcla MDC-2 contiene 5.7%. La diferencia en precio por M3 entre la mezcla de asfalto-caucho y la mezcla convencional va entre \$70.000 y \$130.000 pesos dependiendo si se puede intervenir en alguno de los anteriores aspectos, pero se verá reflejado en los costos de mantenimiento y vida útil de la vía, ya que el precio por Kg del asfalto caucho es de \$1.780 pesos puesto en Bogotá, y el precio del asfalto convencional es de \$1.171 pesos puesto en Bogotá.
- ✓ Podemos concluir que la contaminación que produce las llantas usadas es un problema ambiental muy grave; la difícil descomposición, el gran volumen que ocupa, y la afectación visual son los factores para que las llantas usadas sean consideradas un problema público. Entonces la mejor solución para aprovechar estos residuos es la elaboración de GCR, que no solo en pavimentos se está utilizando también es utilizada en parques infantiles, canchas deportivas, tapetes en salones de clase, y esmaltes inmunizadores. Aportando grandes beneficios ecológicos y lo hace muy viable en la parte ambiental.
- ✓ Se llegó a la conclusión , la mezcla asfáltica con GCR presenta una recuperación axial inicial mayor que la mezcla MDC-2 para un rango de temperatura de 15°C, con una frecuencia de 7,5 HZ, pero esta recuperación axial inicial empieza a disminuir con relación al aumento de la temperatura y la frecuencia en comparación a la mezcla asfáltica convencional.

- ✓ Se comparó los parámetros Marshall de laboratorio que muestran como la mezcla tipo asfalto caucho presenta una deformación plástica menor que el de una mezcla tipo MDC-2.
- ✓ Según los Valores de parámetros Marshall de una mezcla tipo asfalto caucho se comprobó que esta tiene un volumen de vacío menor en comparación a la mezcla asfáltica convencional. Por lo tanto, Estos vacíos llegan a ser ocupados por granos de caucho mejorando las propiedades mecánicas como la deformación y recuperación axial inicial mayor que la mezcla tipo MDC-2.
- ✓ El grano de caucho reciclado (GCR) obtenido de llantas usadas puede ser utilizado confiablemente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como un modificador del ligante (proceso húmedo). Los resultados obtenidos mediante el proceso por vía seca no fueron los esperados, este tipo de mezcla se caracterizó por tener baja adherencia, y poca resistencia durante los ensayos de desempeño practicados. Se recomienda profundizar en este tipo de mezclas en especial en el tema de granulometría de la mezcla. El GCR utilizado para el proceso húmedo mejora la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, sin embargo hace que los módulos dinámicos disminuyan.

11. CONCLUSIÓN OBJETIVO GENERAL

Cuando se aumenta el agregado entre (5 a 20 % GCR) aumenta la resistencia a la tracción. Menor necesidad de mantenimientos, prolongación de vida útil de pavimentos. Además, ayuda con el impacto ambiental que producen las llantas usadas utilizando del orden de 13.6 toneladas de llantas para para la pavimentación de un kilómetro de vía.

Es viable en cuanto a su comportamiento mecánico ya que luego de ser analizados y comparados los módulos dinámicos de las mezclas convencionales tipo MDC-1, MDC-2 y la mezcla asfalto-caucho, se nota una similitud en las características de la mezcla tipo MDC-2. Y en cuanto a diferencia de costos, si se incrementa el valor de la fabricación de la mezcla modificada con GCR, pero este sobre costo se verá reflejado a futuro en el tema de mantenimientos y vida útil de la vía, ya que se estima un incremento de duración de más del 50%.

12. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda aumentar el porcentaje de grano de caucho reciclado (GCR) en la mezcla asfáltica para mejorar sus propiedades mecánicas. Puesto que la cantidad de GCR que se está involucrando en el asfalto-caucho es del 19% en promedio.
- ✓ Tener en cuenta el porcentaje de GCR utilizado en las mezclas ya que si sobrepasamos los límites se verán afectadas directamente las propiedades físicas de esta.
- ✓ Tener en cuenta a que temperatura se va implementar este modificante y las densidades de los materiales debido a que estas pueden variar según el sitios de extracción.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUDELO, Jhon Jairo. Normatividad sobre materiales aptos para vías según su geometría, MEXICO DF, MEXICO: geometría vial de fácil flujo. 2001
2. COLOMBIA. Instituto de desarrollo urbano (1998), normatividad sobre mezclas aptas para vías según su necesidad. BOGOTA DC, COLOMBIA: vías bogotanas
3. COLOMBIA. Instituto de desarrollo urbano (2005), normatividad sobre mezclas con diversos materiales bajo un régimen estándar para vías en Colombia, Bogotá D.C.
4. COLOMBIA. Instituto de desarrollo urbano, (2011), normatividad sobre mezclas en caliente con caucho para vías, Bogotá D.C
5. JIMENÉZ, Daniel. Lo bueno de pavimentar la ciudad en llantas. 2012.
6. QUINET, Emile. Normatividad en vías, materiales dispuestos a ser reutilizados en vías según normatividad, Washington DC, E.E.U.U: Fondo de ingeniería vial. 2004
7. REYES, Oscar y CAMACHO, Javier. Incidencia en el Ahullamiento y Propiedades Mecánicas de una Mezcla Asfáltica por la Adición de Desperdicio de Llanta Usada. Ingeniería y Competitividad, Vol. 6, p.46-55: Bogotá. 2004.
8. RODRIGUEZ, Jean Paul. Normatividad topográfica sobre materiales aptos para vías según condiciones de terreno, Washington DC, E.E.U.U: topografía vial para transporte óptimo. 2007
9. RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander. Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta: Estado del conocimiento y análisis de utilización en Colombia. Noviembre, 2011.

14. ANEXOS

- ANEXO1 INFORME CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS – MÓDULOS DINÁMICOS, MEZCLAS TIPO MDC-1, MDC-2, MDC-12.
- ANEXO2 INFORME CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÓDULOS DINÁMICOS, MEZCLAS TIPO ASFALTO CAUCHO.