



Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) en mezcla asfáltica
para la construcción y rehabilitación de vías en Facatativá.

Diplomado de Gestión Ambiental

Celebrado en la ciudad de Cajicá entre el 8 de noviembre del año 2021 y el 15
de diciembre del año 2021.

Presentado por:

Daniel Felipe Tautiva Mendoza

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada

Programa Académico de Ingeniería civil

Cajicá, Colombia

Enero de 2022

Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) en mezcla asfáltica
para la construcción y rehabilitación de vías en Facatativá.

Daniel Felipe Tautiva Mendoza

Ensayo científico-académico para obtener el título de:
Ingeniero civil

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería Campus Nueva Granada
Programa Académico de Ingeniería civil
Cajicá, Colombia

Enero de 2022

I. Introducción

El presente ensayo está basado en el diplomado de Gestión Ambiental, realizado en los meses de noviembre y diciembre del 2021. El objetivo de este ensayo es aplicar el diplomado como opción de grado para título de ingeniero civil. En el presente ensayo tuve en cuenta dos temas importantes: la economía circular y las diferentes estrategias que tiene Colombia para combatir el cambio climático de acuerdo con lo acordado en la última conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 26). Con el fin de desarrollar las temáticas centrales he elegido profundizar en la realización de mezclas asfálticas modificadas para contribuir a la mejora de la calidad de las vías y reducir la contaminación ambiental que se presenta en Colombia y en el municipio de Facatativá.

A nivel mundial las llantas son un factor muy importante en la economía, dado que se usan en todos los medios de transporte que utiliza a diario el ser humano, como lo son carros, buses, motos, bicicletas y nuevos medios de transporte que van apareciendo para la movilización por las vías. Por esto, las llantas son uno de los componentes de mayor residuo en el mundo y no es biodegradable; por lo que al desechar este elemento de forma inadecuada puede liberar sustancias químicas al aire, al suelo y al agua, alterando el ecosistema donde las llantas de caucho fueron desechadas.

En Colombia, según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, basado en un estudio desarrollado por la Unión Temporal OCADE LTDA y otros, determinó que durante el año 1999 se desecharon 1.981.375 unidades de llantas usadas en las vías de Bogotá D.C., y a mediados de agosto del año 2010, una década

después, se estimó un aumento que corresponde a 2.642.938, es decir, un incremento del 25% más que el año 1999. Al ser un alto volumen de llantas, éstas se almacenan en espacios no adecuados, se queman al aire libre o se utilizan como fuente alterna de energía en hornos artesanales, generando un alto impacto de carácter negativo para el aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

En Facatativá, al ser un sector donde hay alto tráfico de vehículos, las llantas suelen ser desechadas en las basuras o en las calles, porque en el municipio no hay un programa o plan para la correcta disposición de este residuo. Al ser este un proceso inadecuado, puede ocurrir que las llantas se quemen a cielo abierto, generando emisiones al aire. También la guía para el manejo de llantas usadas menciona que, el almacenamiento inadecuado puede producir la aparición de plagas como roedores y mosquitos por estancamiento de aguas; por otro lado, hay la presencia de dos riesgos como lo es el incendio incontrolable y el derrumbe por un apilamiento no controlado de llantas; finalmente se genera un deterioro del entorno y del paisaje (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006).

En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías que han contribuido al desarrollo y optimización del funcionamiento de los pavimentos para implementar una infraestructura vial con estándares de calidad y así satisfacer las necesidades del país.

La implementación del grano de caucho reciclado (GCR) es una opción favorable para el mejoramiento de la malla vial en Facatativá, porque se está trabajando en una de las tantas estrategias que propone el Gobierno Nacional, como lo es la economía circular, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

La estrategia de economía circular (ENEC), es un reto que invita al pueblo colombiano a repensar el modo de desarrollo del país, y lo que se busca con este reto es imponer un enfoque, en donde se cambie de paradigma, para migrar a un enfoque de eficiencia de uso de los recursos y materiales disponibles en el país, basado en la condición de restauración de los ecosistemas y el uso circular de los materiales desechados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2018). Adicionalmente con la implementación del grano de caucho reciclado, según Martínez y Caicedo, se estará produciendo un material de alto desempeño que ahorrará costos de mantenimiento y conservación (Martinez & Caicedo, 2018).

La implementación de grano de caucho reciclado para la modificación de las mezclas asfálticas, puede ser una buena alternativa, ya que puede traer principalmente dos beneficios como: Reducción del costo a largo plazo del pavimento y mitigación del impacto negativo al medio ambiente generado las llantas. Según investigaciones realizadas en los últimos años, se ha podido identificar que este tipo de transformación del pavimento es más durable en relación al pavimento convencional, evidenciado una reducción en el costo a largo plazo, ya que se disminuye significativamente los mantenimientos de las vías, por lo que se puede concluir que el pavimento es más durable con la adición de grano de caucho reciclado, además ayuda a reducir los impactos negativos al medio ambiente, porque se realiza un correcto aprovechamiento de las llantas usadas, ya que éstas son un alto componente de contaminación.

II. Planteamiento de la tesis

Las llantas son un elemento fundamental para el transporte, pero estas traen un gran problema al medio ambiente, no son desechos peligrosos, sin embargo, contribuyen a la contaminación del medio ambiente al no ser desechadas de forma adecuada, generan contaminación al suelo, al agua y al aire, siendo un problema al cual se le debe dar mucha importancia, por lo acordado en el COP 26, ya que el objetivo principal es reducir las emisiones y la contaminación al medio ambiente. Díaz y Castro dicen que, este elemento genera gas metano estando expuesto al sol, por lo que contaminaría el aire, ocasionando efecto invernadero y aumentando los niveles de la huella de carbono, que aportan al cambio climático (Díaz & Castro, 2017).

Por otra parte, hay varias soluciones para mitigar la contaminación que generan estas llantas, pero la que se propone en este ensayo es la de triturar las llantas para obtener el Grano de Caucho Reciclado (GCR), el cual se puede agregar a la mezcla asfáltica para obtener un material modificado que puede traer varios beneficios al pavimento.

Al aplicar esta tecnología que ayuda a mitigar la contaminación, ayudaría también a mejorar la calidad de las vías en Colombia y en el municipio de Facatativá, ya que se ha podido demostrar en varios estudios que la implementación del grano de caucho en la mezcla asfáltica alargaría la vida útil del pavimento, reduciendo la cantidad de mantenimientos al pavimento.

III. Situación actual de las llantas desechas en Colombia

Al revisar un artículo publicado en la revista Auto Crash, indica que en nuestro país se disponen inadecuadamente 61 mil toneladas de llantas o neumáticos, los cuales se desechan en sitios no aptos para tal fin como lo son las vías urbanas y rurales, espacios abiertos deshabitados y fuentes hídricas. La Asociación Nacional de Empresarios en Colombia (ANDI), es la entidad responsable de recolectar las llantas usadas para someter este material a un proceso adecuado que permita su reutilización, lamentablemente por falta de una infraestructura suficiente no le permite transformar el total de este material, solo alcanza a procesar el 50% de la producción, dejando una gran cantidad de llantas en lugares inadecuados que pueden producir problemas de contaminación y ocupación de espacio innecesario (Auto Crash, 2018). Esta generación de residuos que provienen de las llantas de un uso son un problema ambiental mundial desde hace varias décadas, en el territorio colombiano dicho residuo se produce diariamente, por lo que es necesario proponer varias alternativas y nuevas prácticas para que este problema desaparezca y ayudar a la reducción de emisiones.

Para poder generar estrategias, sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Resolución 1326 de 2017, esta define que los productores de llantas que se comercializan en Colombia tienen la responsabilidad de formular, presentar, implementar y mantener vigentes los planes de recolección selectiva y gestión ambiental de neumáticos con el propósito de prevenir y controlar la alteración del ambiente. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible también habla a través de la resolución a cerca, de que las llantas no son consideradas como un residuo

peligroso, pero es importante tener un plan de recolección que garantice el retorno de este material a los productores, esto permite que las llantas no sean quemadas en espacios a cielo abierto y como combustibles en trabajos informales. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

En Colombia se llevan a cabo dos alternativas fundamentales para gestionar correctamente las llantas usadas, como lo es el reencauche (proceso que se basa en la selección y revisión de la llanta usada, a la que se le coloca una nueva banda de rodamiento mediante técnicas de calor y presión (Redacción El Tiempo, 1996)). Y la disposición de rellenos sanitarios, sin embargo, ninguna de estas dos alternativas reduce la contaminación de este residuo. Pero hay una tercera opción, que es la trituración mecánica, este es un proceso para reciclar las llantas, pero éste no es muy usado en Colombia, y según Camargo y Franco, la trituración mecánica de las llantas de caucho es una excelente opción para reciclarlas, porque es un proceso con muy bajos impactos ambientales. Ya que, al hacer un paralelo con el proceso de reencauche, la trituración de una llanta consume menos energía, reduce el consumo de petróleo y no produce emisiones de CO₂. También, si se compara con otros métodos para disposición final, el uso de energía y de petróleo va a depender del volumen de residuos de llantas que tenga para estos procesos (Camargo & Franco, 2017).

Por lo tanto, al considerar la trituración como la mejor opción para gestionar las llantas usadas en Colombia, la alternativa propuesta de incluir el grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas sería una muy buena opción, ya que se le estaría dando un nuevo uso a las llantas recicladas y se disminuiría el impacto ambiental negativo que estas generan al ser tratadas de forma inadecuada. Del mismo

modo, al incluir esta tecnología, se estaría mejorando el pavimento trayendo diferentes beneficios como se verá más adelante.

IV. Economía circular aplicada en las llantas en Colombia

Según Sostenibilidad para todos, la economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde el principal objetivo es reducir la cantidad de elementos, es decir, bajar la cantidad de producción a un nivel mínimo indispensable, y que cuando el proceso requiera hacer uso del material, tener la opción de reutilización de materiales que no puedan regresar al medio ambiente. (Sostenibilidad para todos, 2017).

La implementación de la estrategia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene como objetivo la eficiencia en el uso de los recursos, partiendo de la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los materiales, el agua y la energía. Para el caso de la reutilización de las llantas, nació la Resolución 1326 de 2017, ya antes mencionada, que habla sobre la gestión, las estrategias y las metas, para el reciclaje de las llantas usadas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Con esta resolución se busca que las llantas siempre se estén utilizados, es decir que no se generen residuos o desechos y poder mitigar la contaminación que generan las mismas. Para esto la revista de Sostenibilidad para todos, propone unos principios para la economía circular, los cuales aplican para convertir las llantas usadas a grano de caucho reciclado (GCR). Los principios son:

- El residuo es un recurso

- Energía renovable
- Conciencia de segundo uso
- Reutilización de residuos
- Reciclaje
- Ecología industrial y territorial
- Valoración (Aprovechar lo que no se puede reciclar)
- Reparación (Segunda vida para productos estropeados)
- Eco- concepción (Considera impactos ambientales y busca minimizarlos)
- Economía funcional (reutilización de piezas validas)

(Sostenibilidad para todos, 2017).

V. Características de las llantas

Según Castro “Una llanta es un elemento que permite a un vehículo desplazarse de forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo” (Castro, 2008) (p.2).

Al revisar la guía para el manejo de llantas usadas, menciona que las llantas están elaboradas de varios materiales, pero la cantidad de materiales depende del uso final de la misma, dado que cada tipo de llanta tiene sus características especiales como la resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta presión, características de adherencia, entre otros. (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006).

Al desechar de manera inadecuada las llantas usadas, por medio de un proceso de incineración a cielo abierto, generan emisiones al aire, por lo que la guía para el manejo de llantas usadas dice, que estas emisiones incluyen contaminantes como:

Monóxido de carbono, diferentes tipos de óxidos y elementos orgánicos volátiles, acompañado de contaminantes peligrosos obtenidos de los hidrocarburos y metales pesados.

VI. Proceso de obtención del grano de caucho reciclado (GCR)

Según la Guía para el manejo de llantas usadas el primer paso para obtener el grano de caucho reciclado (GCR), la llanta se debe triturar, en este proceso que permitan la correcta separación del caucho de elementos tales como el acero y los textiles (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006). Díaz y Castro dicen que este proceso debe dejar el tamaño máximo de partícula en $\frac{1}{4}$ ", además dicen que existen dos procesos para la obtención de grano de caucho reciclado (GCR) y cada proceso debe evaluarse según los costos y la garantía del cumplimiento del tamaño de partícula de GCR. (Díaz & Castro, 2017)

Los procesos son:

- Trituración mecánica: esta trituración usa cuchillas para moler las llantas, por lo general en este proceso, las llantas se Trituran gradualmente hasta lograr el tamaño mínimo requerido y luego se pasa a unos clasificadores neumáticos y magnéticos con el objetivo de separar los diferentes elementos que hay en las

llantas. La ventaja de usar este tipo de trituración es que se obtienen buenos productos en muy pocas etapas, ya que no se emplean sustancias diferentes a las llantas. (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006).

- Trituración criogénica: esta trituración consiste en congelar con nitrógeno líquido las llantas completas, éstas son golpeadas para obtener el caucho en forma de polvo, con la liberación de nitrógeno gaseoso. La ventaja de esta trituración es que se puede obtener un tamaño de partícula muy pequeño, pero las partículas de acero y caucho se encuentran mezcladas. (Guía para el manejo de llantas usadas, 2006).

Según Díaz y Castro existen otros procesos de trituración, los cuales se desarrollan en molienda húmeda, para producir tañamos finos que están entre el tamiz 40 y 60, pero en esta clase de trituración es necesario de una segunda etapa de intensidad en la molienda.

En línea con lo anteriormente expuesto, el Grano de Caucho Reciclado (GCR) es un material que se adquiere a partir de la trituración del caucho de las llantas usadas de diferentes vehículos de transporte. Correa dice que el Grano de Caucho Reciclado (GCR) está conformado por caucho vulcanizante originado de la separación de materiales de las llantas usadas y que no es tóxico. También dice que Grano de Caucho Reciclado (GCR) se ablanda y se expande en el proceso cada vez que va reaccionando con el asfalto, por lo que se produce un bitumen más denso, lo cual ayuda a que la mezcla asfáltica mejore su resistencia al envejecimiento y a la oxidación. (Correa, 2018).

VII. Grano de Caucho Reciclado en mezclas asfálticas

El Grano de Caucho Reciclado (GCR) tiene componentes que permiten ayudar al buen desempeño del asfalto, como lo son:

- Negro de humo: este compuesto es usado en las llantas para controlar el desgaste por la fricción generada con la superficie del pavimento, por lo que aumenta la vida útil de las llantas. En la mezcla asfáltica se ha podido determinar que este compuesto mejora las propiedades de refuerzo de la mezcla asfáltica y ayuda a reducir el envejecimiento.
- Antioxidantes: este material se encarga de reducir el deterioro del caucho por oxidación.
- Aminas: estos elementos evitan el endurecimiento progresivo del caucho, también eliminan el aumento de su fragilidad y la pérdida de elasticidad.
- Aceites aromáticos: este compuesto aumenta la vida útil de las mezclas asfálticas modificadas con GCR.

(Correa, 2018)

Según Díaz y Castro, el grano de caucho reciclado (GCR) trae beneficios físico-mecánicos en la carpeta asfáltica, pero hay dos vías en las cuales se puede adicionar el grano de caucho reciclado (GCR), y el pavimento obtiene diferentes características dependiendo la técnica con la cual se va a adicionar el GCR. (Díaz & Castro, 2017).

El primer procedimiento es por vía húmeda, Díaz y Castro aseguran este sistema genera un producto conocido como “asfalto modificado con caucho”. El proceso de transformación de este material incrementa la viscosidad de la mezcla

asfáltica proporcionándole nuevas características. Al presentar una alta temperatura la plasticidad de la mezcla se reduce, este cambio es un punto a favor para mitigar los problemas de ahuellamiento. Por otro lado, al presentarse bajas temperaturas la flexibilidad de la mezcla aumenta, esta característica es muy favorable para reducir problemas como posibles fisuras. Básicamente, el proceso de obtención del asfalto modificado con caucho consta de un tanque donde se mezcla el cemento asfáltico con el grano de caucho reciclado (GCR) con una serie de tornillos sin fin para que se pueda asegurar la circulación de toda la mezcla y de esta forma poder obtener una reacción óptima entre los dos materiales (por lo general este proceso dura de 45 a 60 minutos). Al mismo tiempo se calientan los agregados para después mezclar el cemento modificado con estos agregados. (Díaz & Castro, 2017).

El segundo método es por vía seca, según Díaz y Castro, el procedimiento por vía seca compromete la mezcla del grano de caucho reciclado (GCR) con agregados antes de adicionar el cemento asfáltico a la mezcla. Sin embargo, esta práctica presenta varios inconvenientes técnicos. No garantiza estándares de calidad y no presenta un rendimiento favorable, y esto ocasiona un resultado de desconfianza para aceptar este tipo de modificación, por lo cual el proceso de vía húmeda es el más recomendado.

Hay varias ventajas al implementar el grano de caucho reciclado (GCR) en la mezcla asfáltica, Díaz y Castro, mencionan que al implementar el grano de caucho reciclado (GCR), la mezcla asfáltica es más resistente a los fenómenos de fatiga y ahuellamiento, también dicen que el pavimento puede duplicar su vida útil en términos de fatiga. Adicionalmente aseguran que se puede reducir un poco el espesor del

pavimento, incrementa la resistencia al envejecimiento y oxidación del ligante asfáltico, aumenta la resistencia de la mezcla al agrietamiento por bajas temperaturas, es menos susceptible a los cambios de temperatura, amplía la resistencia a la humedad, la mezcla es más durable por lo que, hay menor necesidad de hacer mantenimiento, por último y no menos importante, contribuye a la disminución del impacto ambiental negativo que ocasionan las llantas usadas y su mala disposición. (Diaz & Castro, 2017).

Entrando en valores reales Botero dice que para un carril con 3,5 metros de ancho y un espesor de 5 centímetros de una mezcla modificada con grano de caucho reciclado (GCR), se requieren aproximadamente 1560 llantas por km/carril o 13,6 toneladas por km/carril (Botero, 2005).

Por otro lado, en un estudio realizado por Herrera, donde compara una mezcla asfáltica MDC-25 con una mezcla modificada con un 15% de Grano de Caucho Reciclado (GCR), para un tramo de un kilómetro, con dos carriles de 3,5. Con bermas de 0,5 metros y un espesor de 6cm. Muestra que al incluir el Grano de Caucho reciclado se reduce la cantidad de cemento asfáltico requerido, por lo que el presupuesto para obra se va a reducir, en este caso, se tiene presupuestado que la obra con la mezcla asfáltica MDC-25 va a costar alrededor de 142 millones de pesos, y la mezcla modificada con un 15% de Grano de Caucho Reciclado (GCR) costaría alrededor de 129 millones de pesos, por lo que hay una reducción del 10%, siendo significativa, ya que son obras muy costosas (Herrera, 2021).

VIII. Grano de Caucho Reciclado (GCR) en Facatativá

En la sabana del occidente cundinamarqués se encuentra el municipio de Facatativá. Este municipio es la capital de la Provincia de Sabana Occidente. Hace parte del Área Metropolitana de Bogotá.

En los últimos años Facatativá se ha caracterizado por ser un municipio que ha ido creciendo en desarrollo y ha aumentado el tráfico de vehículos, por lo que el municipio debe encargarse de mejorar la malla vial, para que sea adecuada al número de carros que transitan por esta, por otro lado, debe encargarse de los desechos que producen los automóviles y distintos medios de transporte, uno de estos desechos son las llantas, se podido comprobar por URBASER que en Facatativá se desechan alrededor de 220 llantas de todo tipo a la semana. Por lo que la implementación del grano de caucho reciclado sería una muy buena opción para realizar la mezcla asfáltica y de esta forma producir un pavimento adecuado para el municipio.

Facatativá no es ajeno a los problemas ambientales que hay en el país, uno de esos problemas es la disposición de residuos no peligrosos como son las llantas, estas son quemadas al aire libre, son apiladas en algunas calles del municipio y como se ha mencionado a lo largo del documento, no tiene un adecuado proceso para la disposición de las llantas.

Por otro lado, está el mal estado de la malla vial en Facatativá, hay vías sin pavimentar, hay calles con muchos huecos, con piel de cocodrilo y en general no están en óptimas condiciones para el tráfico vehicular, el cual ha venido en un continuo aumento en el municipio generando trancones en diferentes zonas de la cabecera

municipal, por lo que es necesario hacer plan de rehabilitación a las calles de Facatativá.

Al tener que hacer un mejoramiento de la malla vial en Facatativá, es importante considerar la opción de implementar el grano de caucho reciclado (GCR), porque como se ha mencionado anteriormente por varios autores, al utilizar el grano de caucho reciclado (GCR), la mezcla asfáltica modificada es más durable con respecto a las mezclas asfálticas convencionales, por lo que el pavimento va a tener menor costo a largo plazo, ya que se presenta una reducción significativa de los mantenimientos y lo más importante de implementar este material es que va a ayudar al medio ambiente, porque se hará un correcto aprovechamiento de las llantas usadas y se reducirá el impacto ambiental.

IX. Conclusión

En Colombia existe la necesidad de implementar nuevas tecnología y estrategias para combatir el impacto ambiental negativo que generan diferentes artefactos que son usados y desechados diariamente por los habitantes del país. Las llantas, al ser un elemento indispensable para el desarrollo del país, traen impactos positivos a la economía y a la comodidad de los colombianos, pero como cualquier objeto cumplen su ciclo de vida y son desechadas de forma inadecuada generando contaminación, es decir, impactos negativos al medio ambiente.

Una de las estrategias más importantes para combatir el impacto ambiental negativo de las llantas usadas, es implementar la economía circular contemplada en la

Resolución 1326 del 2017, esta estrategia planteada en la resolución permitiría alargar el ciclo de vida de las llantas, transformándolas para funciones, como es el caso de un proceso de triturado de las mismas para producir grano de caucho reciclado y que este material sea usado como un agregado para mejorar la mezcla asfáltica en los pavimentos.

La implementación de esta tecnología en el país y más específicamente en Facatativá es muy viable y adecuada para la realidad que se vive, ya que según URBASER, sin tener un documento o una estadística oficial, indica que en Facatativá se desechan alrededor de 220 llantas de todo tipo semanalmente. La trituración no es de las principales formas para reciclar las llantas en Colombia, si se logra aumentar la capacidad de trituración, se puede aumentar el número de llantas recicladas, reduciendo el impacto ambiental negativo.

Si se pudiera implementar esta tecnología en Facatativá, al año se podrían reciclar alrededor de 10.580 llantas, quiere decir que se podrían realizar alrededor de 7 km de carril de 3,5m con esta cantidad de llantas, como se observa no es mucha la producción de grano de caucho reciclado para la construcción de vías en el municipio, por lo que se debería buscar una alternativa para producir más grano de caucho reciclado como puede ser, reciclar las llantas de municipios aledaños a Facatativá.

Se ha podido demostrar en diferentes estudios encontrados que la adición del grano de caucho reciclado (GCR) a las mezclas asfálticas mejora considerablemente los comportamientos mecánicos de los pavimentos. Al mejorar la mezcla asfáltica se puede deducir que los beneficios económicos son muy buenos, ya que el pavimento aumentaría su vida útil, lo que implica reducción de mantenimientos por fallas

mecánicas. También se sustituirían algunos materiales finos como la arena por el grano de caucho reciclado, reduciendo el valor como tal de la mezcla.

La implementación de esta tecnología ayudaría al país a resolver problemas en diferentes sectores como la economía, el sector ambiental, el transporte, entre otros, ya que estos sectores se relacionan estrechamente con el estado de la infraestructura vial del país. Por lo que, en Facatativá, sería muy bueno implementar la utilización del grano de caucho reciclado (GCR) en la construcción y rehabilitación de vías, porque generaría impactos positivos en los sectores mencionados, ya que es algo que necesita el municipio para el desarrollo de este.

Se estima que para la construcción de la capa de rodadura se obtendría un ahorro del 10% implementado el grano de caucho reciclado (GCR), es un ahorro importante, ya que en la construcción de vías se habla en cientos de millones, pero el problema mas grande que se presenta al implementar esta tecnología en Colombia es que no se cuenta con la infraestructura necesaria para triturar las llantas, por eso, las principales formas de gestionar las llantas usadas es reencauchándolas o llevándolas directamente a los rellenos sanitarios, por lo tanto, esta tecnología sería viable a largo plazo en Colombia, porque se debe hacer una gran inversión para poder triturar las llantas y producir el grano de caucho reciclado (GCR).

Bibliografía

- Auto Crash. (2018). Final al frustrado proceso en la disposición de llantas usadas. *Auto Crash*, 2.
- Botero, J. (2005). *GOMAS TRITURADAS: ESTADO DEL ARTE, SITUACIÓN ACTUAL Y POSIBLES USOS COMO MATERIA PRIMA EN PUERTO RICO*. San Juan: Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.
- Camargo, S., & Franco, J. (2017). Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas. *RESEARCH ARTICLE*, 357-381.
- Castro, G. (2008). Materiales y compuestos para la industria del neumático. *Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A*, 2.
- Correa, C. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON GRANULO DE CAUCHO EN EL BARRIO SAN CARLOS DE LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO*. Bogotá.
- Díaz, C., & Castro, L. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR)*. Bogotá.
- Guía para el manejo de llantas usadas. (2006). *Guía para el manejo de llantas usadas*. Bogotá.
- Guía para el manejo de llantas usadas. (2006). *Guía para el manejo de llantas usadas*. *Guía para el manejo de llantas usadas*, 41.

Guía para el manejo de llantas usadas. (2006). *Impactos ambientales por manejo inadecuado*. Bogotá: Editorial Kimpres Ltda.

Herrera, Y. (2021). *Análisis Comparativo de los Parámetros para la Estabilidad y el Flujo de una Mezcla Asfáltica MDC-25 con una Mezcla Asfáltica MDC-25 Modificada con Grano de Caucho Reciclado*. Bucaramanga.

Martínez, G., & Caicedo, B. (2018). *Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos*. Bogotá: Revista ingeniería de construcción.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (15 de Octubre de 2018). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). RESOLUCIÓN 1326 DE 2017. 1-22.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Obtenido de Estrategia Nacional de Economía Circular: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Obtenido de Estrategia Nacional de Economía Circular: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010).

Redaccion El Tiempo. (1996). LA VERDAD SOBRE EL REENCAUCHE. *El Tiempo*, 1.

Sostenibilidad para todos. (13 de Octubre de 2017). *Sostenibilidad para todos*.

Obtenido de https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/?_adin=11551547647