

Bogotá y su inclusión en el uso de tecnologías limpias con la construcción de vías a partir de
mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho

Leonardo Andrés Galarcio Africano

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Estudios a Distancia

Ingeniería Civil

Bogotá D. C.

Julio 2019

RESUMEN

En Colombia se viene utilizando como parte de la innovación y uso de las tecnologías limpias las mezclas asfálticas con granulo de caucho (GCR), para junio del 2015 por parte del estado de la mano del vicepresidente de turno German Vargas Lleras y el ministro de ambiente del mismo periodo Gabriel Vallejo López, se toma la decisión de incluir puntajes adicionales en los pliegos de licitaciones del instituto nacional de vías (INVIAS) para los proponentes que incluyeran en su propuesta la utilización de asfalto con granulo de caucho, se enfatizó desde el gobierno que para esa época Colombia generaban cinco millones de llantas que no tenían una buena disposición final, a su vez que la implementación de esta medida establecida por la modificación de la resolución 1457 del 2010 estaba fundada en pruebas que se habían hecho en otros países de la utilización de este material, con la responsabilidad de lograr una buena implementación por medio del decreto 442 del 2015 para el uso del caucho en las vías de la ciudad de Bogotá, a la fecha con base en el decreto 2393 y 6891 de 2011 en la ciudad capital por medio del instituto de desarrollo urbano (IDU) que mínimo se utilice este tipo mezcla GCR en el 5% del total de metros cuadrados que se vayan a instalar en un proyecto, esto se incrementara anualmente en 5 puntos hasta llegar a la meta que es el 25% de uso para este material en la ciudad de Bogotá.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) que son objetivos mundiales aplicados en Colombia se han encaminado en su implementación sobre 17 objetivos como pilares que vienen impulsando la competitividad empresarial, por ejemplo, el fin de la pobreza y principalmente la protección del medio ambiente. La importancia que ha tenido el crecimiento del interés de las comunidades junto con sus líderes en no dejar avanzar la devastación de nuestros recursos y lograr la mejor manera de utilización de los mismos ha conllevado a encontrar métodos que permitan el éxito de las ODS en el país, el granulo de caucho unido a las mezclas asfálticas que ya se venían trabajando en las vías es una muestra de esta evolución.

La utilización de esta mezcla comenzó en Phoenix, Arizona se logró comprobar la reducción del ruido y una mayor durabilidad del pavimento, se extendió posteriormente a otros estados y se utilizó en su época inicial un total de 100.000 toneladas anuales de caucho proveniente de 12 millones de neumáticos, cifras y experiencias que hoy día en Colombia se han tomado como base especialmente en la ciudad de Bogotá por medio del instituto de desarrollo urbano IDU, para venir implementando dentro del marco de las ODS la reutilización de neumáticos y la mejora en calidad del pavimento así mismo lograr el alcance de objetivos de desarrollo sostenible, se han tomado como referencia los estudios que se realizaron en Europa desde el año de 1994 al asfalto caucho que fueron luego llevadas y construidas en 2002, de ello el ministerio de fomento Y de medio ambiente de España en 2007 publicaron una guía que fue herramienta para le implementación en nuestro país del asfalto con granulo de caucho y el impacto ambiental proyectado en la ciudad de Bogotá, entre otros la no quema de neumáticos es uno de los beneficios ambientales que ha tenido la implementación de este material, se disminuye las emisiones de CO2 que es causante en potencia de gran parte de la contaminación.

DESARROLLO DEL TEMA

En Bogotá La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), la Secretaría Distrital de Movilidad, la UAESP, la ANDI, la Unidad de Mantenimiento Vial y Transmilenio, han unido esfuerzos para realizar un reporte del ciclo productivo de los neumáticos reutilizados en la ciudad de Bogotá, El reporte señala que a la fecha se han logrado “valorizar y volver al ciclo productivo 136.873 neumáticos usados”, (Casa Tiempo, ¿2018) A dónde fueron a parar 136.000 llantas viejas de la capital? Recuperado el 15 de septiembre del 2019, <https://www.eltiempo.com/bogota/que-hacen-con-las-llantas-viejas-de-bogota-219350>.

En Colombia se estima una generación de llantas usadas de aproximadamente 5'300.000, de las cuales 2'000.000 se producen en Bogotá, según datos del ministerio de ambiente aproximadamente el 40% de estas llantas son utilizados en la elaboración de asfalto caucho, desde el año 2012 el Instituto de desarrollo urbano IDU se propuso como meta el lograr involucrar el asfalto con grano de caucho en un 5% en aumento del total del pavimento utilizado en los contratos que involucren mezclas asfálticas, la decisión se inspira en la Resolución 6891 de 2011 de la Secretaría Distrital de Ambiente la cual menciona la proyección que tiene el IDU respecto a la innovación tecnológica y producción limpia, la propuesta apunta a llegar a un 25% de utilización de asfalto con granulo de caucho en los contratos licitados por la entidad, sin embargo por ejemplo hoy día uno de los contratos más grandes de la última administración de interventoría contrato IDU-1463-2017 cuyo objetivo es la; INTERVENTORÍA TÉCNICA, ADMINISTRATIVA, LEGAL FINANCIERA, SOCIAL, AMBIENTAL Y DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO PARA EJECUTAR A PRECIOS UNITARIOS Y A MONTO AGOTABLE, LAS ACTIVIDADES NECESARIAS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN DE LA MALLA VIAL ARTERIAL NO TRONCAL, EN LA

CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. GRUPO 1, según el balance presentado de anualidad correspondiente al año 2018, presenta una utilización de más del 50% de asfalto con granulo de caucho, en el siguiente cuadro mostramos la relación de las dos mezclas utilizadas en el contrato mencionado anteriormente involucradas en el informe de anualidad:

| | feb-18 | mar-18 | abr-18 | may-18 | jun-18 | jul-18 | ago-18 | sep-18 | oct-18 | nov-18 | dic-18 | ene-19 | feb-19 | TOTAL, M3 | % |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|---------|
| MD12 en (M3): | 994,1 | 829,5 | 1171,7 | 103,7 | 614,9 | | 303,5 | 402,5 | 0 | 0 | 371,8 | 623,5 | 127 | 5542,2 | 47,53 % |
| MD20 GCR en (M3): | 510,8 | 1139,1 | 958,2 | 64,6 | 569,6 | | 504,1 | 626,7 | 367,7 | 265 | 471,5 | 298,7 | 341,2 | 6117,2 | 52,47 % |
| | | | | | | | | | | | | | | 11659,40 | 100% |

Lo que exige el distrito es que para mezclas modificadas con Granulo de caucho reciclado GCR, el porcentaje instalación es del 25 % del volumen total de mezcla asfáltica usada para la obra (se tienen en cuenta solo corredores de rehabilitación. Comuneros, Av. Ciudad de Lima y Av. La Esmeralda), de acuerdo al Artículo 4 de la Decreto 265 de 2016, el cual modifica el artículo 10, del decreto 442 de 2015, de acuerdo a esto se está cumpliendo con lo previsto en cuanto a la utilización de dicha mezcla asfáltica para el contrato citado anteriormente.

Desde lo técnico entonces podemos decir que la utilización del asfalto con granulo de caucho se viene implementando en Colombia de manera progresiva, las primeras características encontradas en este material fueron a reducción del ruido por fricción del neumático y el pavimento, y la más importante la durabilidad que llevaba a que se tuviera que hacer menos mantenimiento a la carpeta asfáltica, convirtiéndose así en lo que se llama un pavimento sostenible, Charles H. McDonald el hombre que por primera vez incursiono en la utilización de este material en Norte América, el trabajo realizado consistía en la reparación de vías en la ciudad de Phoenix con la mezcla asfáltica más la adición del material caucho, este hombre por medio de pruebas realizadas en la elaboración del material, establece que la reacción del

granulo de caucho o caucho molido con la mezcla asfáltica convencional por un tiempo aproximado de una hora, generaba que este tuviera propiedades diferentes a las conocidas en ese momento, y se tomaría este material para futuros trabajo de allí en adelante en distintos estados del país por lo menos tres estados principalmente como Arizona, Texas y Florida en los años 1970 a 1980. (Carlson & Zhu, 1999).

En el año de 1985 por parte de las entidades de control y vigilancia de estados unidos se realizan diferentes estudios y pruebas investigativas sobre el material asfáltico mezclado con el granulo de caucho, después de las pruebas y la obtención de resultados técnicos, se determina esta mezcla como material reutilizado o reciclado, que a su vez tiene propiedades mecánicas mucho más favorables que los convencionales, en otras palabras tiene muchos beneficios tanto técnicos como ambientales que podían ser aprovechados según el instituto de transporte de Texas. (Carlson & Zhu, 1999).

Debido al problema que actualmente que tienen las vías en la ciudad de Bogotá encontramos en este material una importante alternativa y solución, muchas de las vías sufren un deterioro temprano bien sea por la composición del material mismo o por el estado del suelo y la cantidad de tiempo que lleva en uso sin la estructura correcta, las mezclas asfálticas con granulo de caucho han probado una mayor eficacia en cuanto a la cantidad de mantenimientos periódicos que se generan normalmente en un pavimento flexible como estos, que se entiende por granulo de caucho reciclado? Simplemente es un material o producto que se obtiene de la molienda o triturado de llantas o neumáticos desechados para su reciclaje que no contenga a su vez materiales ferromagnéticos, u otros elementos que contaminen la obtención de única y exclusivamente caucho. (Resolución 6981 del 27 de diciembre de 2011).

Los beneficios ligados a la modificación de mezclas asfálticas con (Granulo de Caucho Reciclado) GCR entre otros son los siguientes:

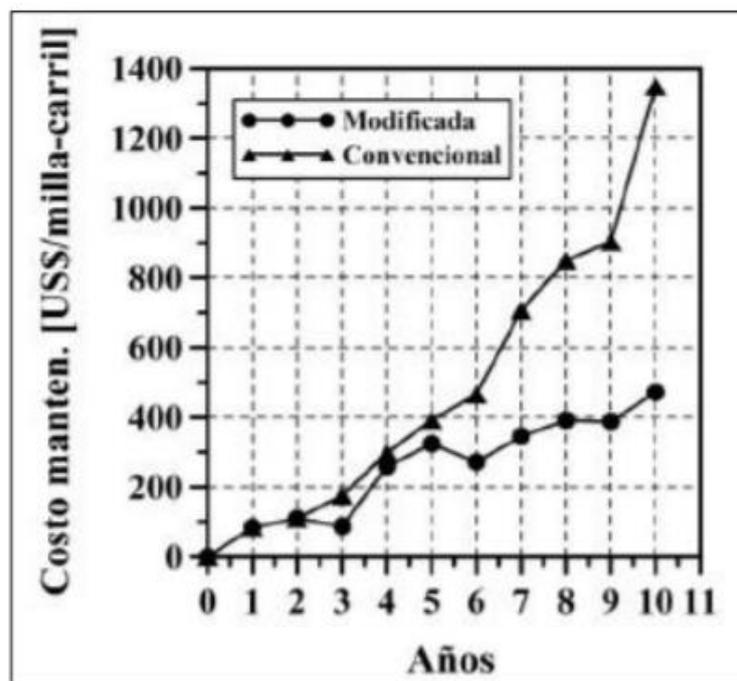
- Aumenta la resistencia a la fatiga del material.
- Mejora el comportamiento elástico de la mezcla asfáltica.
- Térmicamente es susceptible a su instalación.
- Incrementa la durabilidad ante sustancias o agentes no comunes.
- Mayor rendimiento y desempeño de la mezcla asfáltica.

El empleo del GCR como modificador del ligante y como mejorador de la mezcla asfáltica para su uso en la construcción de pavimentos flexibles y semirrígidos, y los beneficios de éste aporta a los pavimentos podrían verse reflejados en una disminución de espesores en la capa asfáltica con respecto a pavimentos asfálticos con materiales convencionales para una misma vida útil establecida. Esto se debe a que el caucho bien dosificado en las mezclas asfálticas mejora la resistencia al fisuramiento por fatiga y evita el ahuellamiento del pavimento a altas temperaturas, aumentando la vía útil del mismo y disminuyendo los costos de mantenimiento.

Por otro lado, mejora el agarre de los neumáticos de los vehículos al pavimento, reduce el envejecimiento por oxidación del ligante, ayuda a la preservación del medio ambiente, y a disminuir el ruido generado por el tráfico al contacto con el pavimento, entonces técnicamente tiene muchas ventajas la utilización de este material en las vías.

El Instituto de Desarrollo Urbano junto con la Universidad de Los Andes según investigaciones realizadas y junto con la experiencia en dichos contratos, afirman que el costo vs beneficio se puede reducir aproximadamente en promedio en un 40%, siempre que se utiliza la mezcla modificada con granulo de caucho y en el proceso por vía seca utilizando en promedio el 1.5% de (GCR) respecto al peso total de la mezcla. Las mezclas asfálticas modificadas (GCR) tienen una mayor durabilidad y resistencia, esto lleva a que no sea necesario tanto mantenimiento periódico a diferencia de la mezcla tradicional (Lee, 2008).

La gráfica muestra la reducción de costo respecto al mantenimiento.



Costos de mantenimiento (mezclas modificadas con GCR y convencionales, WAY 1999)

Ahora bien ¿qué impacto ha generado ambientalmente la implementación de este material?

En la ciudad de Bogotá se presentan problemas con la disposición de las llantas usadas, gran parte de ellas se desecha como basura en las calles y no solo afecta la parte ambiental si no el

entorno paisajístico de la ciudad, lo más gravoso es la quema indiscriminada de las mismas y el daño a la atmósfera, este proceso produce enormes cantidades de CO₂ como es conocido ya, es uno de los gases que tienen más presencia en los informes de contaminación del aire y medio ambiente a nivel mundial, aparte de esto está prohibido dentro del documento conocido como protocolo de Kioto, Este protocolo es un acuerdo internacional que tiene como objetivo principal eliminar o reducir las emisiones de 6 gases tóxicos que causan el calentamiento global, entre los cuales se encuentra el dióxido de carbono (CO₂). (Cesar Díaz, 2017)

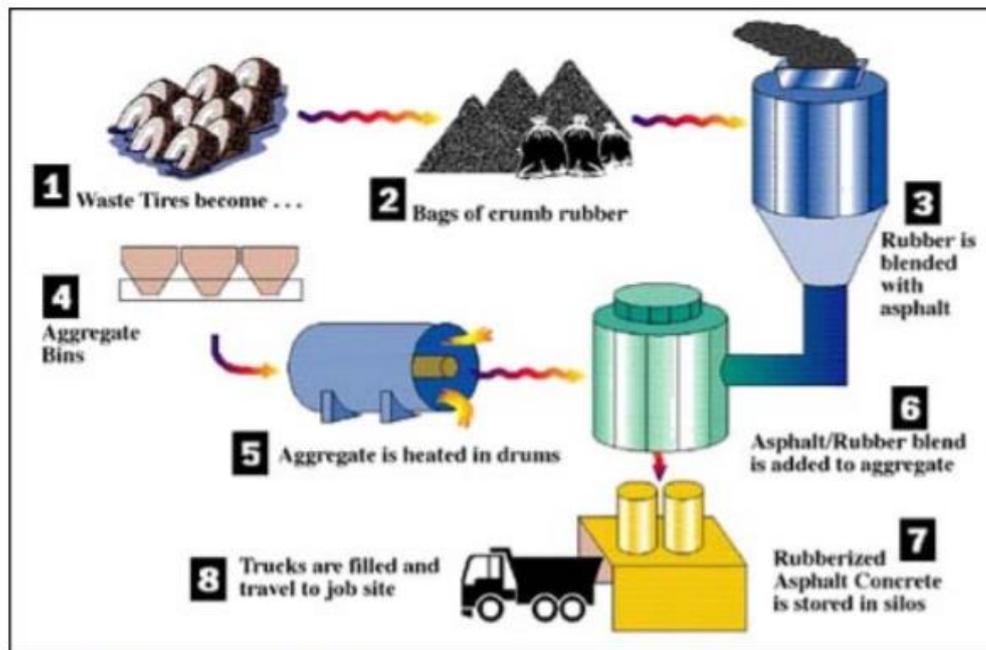
¿Entonces tiene impacto en el medio ambiente la utilización de GCR?, por supuesto que genera un impacto además positivo, EL 65 % de las vías en la ciudad de Bogotá estas construidas en pavimentos flexibles, estamos hablando de una mayoría, si logramos unir los resultados ambientales con los técnicos podemos afirmar que si se implementa un mayor porcentaje de mezclas asfálticas GCR en las construcciones viales, podemos obtener mayor durabilidad en el pavimento de la ciudad, menos presupuesto dedicado a mantenimientos y reparaciones, y lo más importante llegar a involucrar de manera directa o indirecta varios objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Involucrar a la ciudad de Bogotá en los (ODS), es parte de mostrar el avance que tiene el país hacia el cumplimiento de los mismos, al ser la ciudad capital se hace mucho más visible cualquier implementación que se tenga de las mismas, desde el gobierno nacional se apunta a la mejora sustancial de los índices de pobreza, salud, educación, trabajo, infraestructura, cambio climático entre otros, la inclusión de la mezcla GCR como ya lo mencionamos anteriormente es una técnica que de manera directa o indirecta involucra varios aspectos relacionados con distintos ODS.

Ahora bien, hablamos de un aspecto importante a tener en cuenta son las emisiones de gases producidas en la generación de la mezcla asfáltica GCR, lo primero que cabe resaltar es que la producción de GCR se puede dar en dos vías, seca o húmeda, por vía seca trabajamos con material molido sólido, ósea que se muele la llanta para obtener granos de caucho los cuales funcionan como material agregado remplazando parte de los finos por el mismo.

Son dos las tecnologías que en Estados Unidos son empleadas para el uso del GCR, en primer lugar, por vía seca encontramos tecnología PlusRide y la Genérica o TAK, también vemos una tecnología un poco más conocida que se usa en granulometrías convencionales, desarrollada en España y es actualmente empleada en otras partes del mundo, El (GCR) es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van de 1 a 3 por ciento del peso total de los agregados. El GCR son partículas que van desde 4.2 mm (1/4") a 2.0 mm (tamiz No 10). El contenido de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4 por ciento, y por lo general son obtenidos con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 por ciento. (IDU, MEJORAS MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS DE LLANTAS, 2012).

Por vía húmeda se transforma el material (llanta de caucho) en un aditivo viscoso el cual se adiciona en la mezcla asfáltica, en la siguiente figura se muestra el proceso por vía húmeda de la mezcla asfáltica modificada.



Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía húmeda. Tomado de: <http://www.rubberizedasphalt.org/how.htm>.

Rubber & Plastic News (1998) afirma que en promedio se usan 13.6 ton para la construcción de un kilómetro de vía, utilizando asfaltos modificados GCR.

Para el trabajo de obras públicas u obras en general viales lo primero que debemos buscar es que sean proyectos viables, la viabilidad de un proyecto depende varios factores entre los cuales está el económico, y allí encontramos la diferencia más grande en cuanto al reciclaje del caucho para mezclas asfálticas, por vía húmeda la producción de asfalto con caucho es mucho más costosa que obtener granulo de caucho para que se agregado ósea por vía seca, con esto podemos llegar una primera conclusión de que en la ciudad de Bogotá como en Colombia es mucho mejor utilizar el granulo de caucho como un agregado, ósea por vía seca para la puesta en marcha de proyectos donde se pueda y se requiera la utilización de asfaltos modificados, hemos visto que contribuye técnicamente a disminuir recursos y en la parte ambiental podemos tener una mejora en cuanto a las emisiones de gases contaminantes, ¿de qué manera podemos

lograr la disminución de emisión de gases?, inicialmente el solo proceso de molienda del caucho comparado con la quema indiscriminada de llantas reducen los índices de CO2 que es uno de los más contaminantes en el mundo, pero por otra parte existe la posibilidad de disminuir por medio del cambio de combustible empleado para el funcionamiento de las plantas asfáltica cambiándolo a gas natural.

| COMBUSTIBLES | kg CO ₂ eq/h | Producción t/h | kg CO ₂ eq/t HMA | Fuente |
|-------------------|-------------------------|----------------|-----------------------------|---------|
| Gas Natural (GNL) | 4.712,500 | 260 | 18,13 | Sorigué |
| Fuel | 6.271,460 | 0 | 0,00 | |
| Cogeneración | 2.290,860 | 0 | 0,00 | |
| TOTAL | | | 18,13 | |

Los valores para los casos de fuel y de cogeneración son finalmente nulos porque la planta que se ha utilizado como referencia se alimenta con gas natural.

(Tomado de: [http://oa.upm.es/19018/1/INVE MEM 2012_138874.pdf](http://oa.upm.es/19018/1/INVE_MEM_2012_138874.pdf))

El combustible que se utiliza para el funcionamiento de las plantas es el determinante en las emisiones de CO2 durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica modificada con GCR, por esta razón la propuesta del cambio de este combustible por el del gas natural como se evidencia en la tabla anterior nos llevaría a una disminución de aproximadamente del 28% o más de la producción de CO2 en el sistema interno. Además, a su vez la implementación de un sistema de cogeneración permitiría reducir un 53% adicional las emisiones de dicho contaminante (Ángel Sanpedro, 2012).

Gracias a los aportes investigativos que se han desarrollado y probado en varios países del mundo como lo han sido por ejemplo Brasil y Estados Unidos, se logra que durante el

desarrollo tecnológico que se piense en el futuro medioambiental de nuestras comunidades, y el desarrollo en la competencia empresarial moderna de la mano de la sostenibilidad, entre esto encontramos la necesidad de incorporar materiales reciclados que causan impactos ambientales, entre estos materiales por supuesto tenemos que hablar en esta ocasión grano de caucho molido (llanta reciclada) el cual involucramos en la elaboración de las mezclas asfálticas, este material también ha sido estudiado, investigado y reglamentado por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), las cuales en Colombia se han tomado como referencia para elaborar manuales y normativas internas de entidades reguladoras en el tema del desarrollo vial, de esta manera ha llegado a aprobarse este material como un modificador del asfalto. No solo Colombia es el único país que ha decidido adoptar este material, las tecnologías y la competitividad económico ambiental ha permitido que se lleve a cabo en países como Estados Unidos, Inglaterra, Brasil México, Venezuela, la implementación de esta mezcla, y con mucho éxito, por ejemplo, en España se viene trabajando con este tipo de asfalto modificado aproximadamente desde el año 1,989 (Rodríguez, Cubas, 2015)

Desde el descubrimiento de las mezclas asfálticas con GCR, se realizan periódicamente el estudio económico, ambiental y técnico, cada vez con algunas mejoras que han llevado a la preferencia por el uso de este modificador particular, como ignorar que tenemos un material en las calles que esta siendo el causante de parte de la contaminación, mientras podemos utilizarlo para el desarrollo mismo dentro las obras, debido al hecho de que no sólo la utilización de las llantas usadas puede ayudar a resolver los problemas ambientales es necesario entender que también encontramos que es aportante de otras ventajas como el aumento de la resistencia al deslizamiento, la mejora de la flexibilidad y la resistencia al agrietamiento, y como algo menos relevante pero no menos importante vemos que se reduce el ruido del tráfico, en una ciudad

como Bogotá donde el caos y la vida diaria es causante de muchas enfermedades auditivas no deja de ser un factor da resaltar.

En países que poco nombramos en estudio de este tipo como Sudáfrica y Australia se iniciaron las incorporaciones de la utilización de mezclas asfálticas modificadas con granulo de caucho desde 1980, en 1975 luego se informó el avance en los estudios de los diferentes procesos separándolos en húmedos y secos que ya se venían utilizando con éxito en estados unidos.

En Australia en algunos estados se legaliza y adopta el procedimiento por vía húmeda claramente como lo mencionamos es el más costoso dentro de las posibilidades de inmersión del material caucho a la mezcla asfáltica, aunque también cabe resaltar que esto se hizo de manera limitada debido al control diferenciado que tiene Australia en el reciclaje de los neumáticos desechados y reutilizados, se utilizó principalmente en la capa siguiente a la capa de rodadura como protección a la aparición de grietas, por otra parte se adopta por vía húmeda como sellante a las grietas o fisuras ya existentes en el deterioro del pavimento y evitar mantenimientos periódicos .

Por la misma época en la década de 1980 en Europa las mezclas asfálticas modificadas con caucho también vía húmeda han sido implementadas con un gran porcentaje de satisfacción, en la aplicación de construcción de vías (Cesar Díaz, 2017, p.54).

Como podemos observar no es una tecnología desconocida, en países con grandes avances tecnológicos en muchos aspectos y países con más desarrollo que Colombia ya se está

utilizando, por ello que el Instituto nacional de vías INVIAS, junto con el gobierno nacional deciden involucrar esta mezcla en proyectos viales de gran magnitud, con el tiempo y debido a esta implementación Colombia puede llegar a tener una red vial nacional, departamental, local o municipal que este a la altura de la grandes ciudades del mundo, cualquier nueva tecnología nos acerca a la implantación de ODS que contribuyan a la meta de ser un país más sostenible más competitivo debido a las buenas prácticas y con más campo de acción empresarial a niveles internacionales.

CONCLUSIONES

Ningún proceso de adaptación es sencillo, sin embargo Colombia le apuesta a involucrar las ODS en el desarrollo nacional, que mejor desde el sector construcción que colaborando con la protección y prevención de daños causados al medio ambiente, debido a que durante muchos años este mismo sector ha causado grandes impactos ambientales en el desarrollo de sus proyectos, impactos bien sea negativos o positivos, con la llegada en 2012 de la decisión de adoptar las mezclas asfálticas modificadas con granulo de caucho, se abre la posibilidad de que Colombia se incluya en la lista de los muchos otros países que le apuestan al desarrollo sostenible, y que mejor manera que enfrentar un problema tan grave como la disposición final de llantas por ejemplo en la ciudad de Bogotá que incluso ha llevado a la quema indiscriminada de los neumáticos en vía pública o en lugares no autorizados, desde este punto de vista ya tenemos la respuesta más importante que se puede dar sobre como la mezcla asfáltica modificada con granulo de caucho impacta de manera ambiental en su implementación, y es que no solo ayuda con la reutilización de llantas sino que también reduce los índices de contaminación en la ciudad y mejora la calidad del aire y la salud de sus habitantes, allí encontramos ya varios objetivos de desarrollo sostenible involucrados, no es posible en un mundo donde se le apuesta a la sostenibilidad dejar de lado cualquier sistema que permita a una empresa o industria un aporte a dicho camino, en el sector construcción en Colombia ya se ha presentado varias propuestas de edificaciones sostenibles y porque no ahora continuar con la evolución de elaboración e investigación de este tipo de asfaltos modificados con materiales que se puedan reciclar, las vías en nuestro país necesitan un desarrollo constante y casi que imparable.

Técnicamente podemos afirmar también que la mezcla asfáltica modificada tiene ventajas sobre las demás que pasan a ser económicamente importantes, como en muchos de los casos el mantenimiento es uno de los puntos de referencia para la obtención periódica de recursos a largo plazo, y no está mal, pero hablamos en este caso de un material que está ligado al desarrollo y está involucrado en los planes de desarrollo de una nación, ósea recursos públicos, porque no apuntarle a una solución a la falta de recursos para algunos proyectos necesarios por medio de la eliminación de manteamientos que antes se tenían que hacer de manera periódica pero más seguida y hacerlos a largo plazo, podemos involucrar más ODS invirtiendo por ejemplo recursos en otros objetivos.

El asfalto caucho a pesar de todo tiene algunas desventajas en el momento de su producción, al iniciar este proceso y durante el mismo se generan temperaturas elevadas y a su vez un mayor consumo de energía, por ello hablábamos de la necesidad de involucrar un sistema de combustible diferente como el gas natural, este material tiene muchas más ventajas que desventajas y es parte de la evolución ambiental a la que debemos seguir apuntando.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C., “Por medio del cual se crea el Programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital y se adoptan otras disposiciones.”, DECRETO 442 DE 2015, Bogotá D.C.
- ANDES, U. D. (2005). SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO DE LAS MEJORAS MECÁNICAS SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS.
- ANGULO, R.A, Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos Universidad distrital, 2005.
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO DE LAS MEJORAS MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS DE LLANTAS- PISTA DE PRUEBA, CONTRATO IDU-306- 003, BOGOTÁ D.C., 2005,
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, SESTUDIO DE LAS MEJORAS MECÁICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DESECHOS DE LLANTAS., CONTRATO IDU-366- 01, BOGOTÁ D.C., 2002.
- Camilo Correa, IMPLEMENTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON GRANULO DE CAUCHO EN EL BARRIO SAN CARLOS DE LA LOCALIDAD DE TUNJUELITO, 2018.
- Diaz, Castro, IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) PROVENIENTE DE LLANTAS USADAS PARA MEJORAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y GARANTIZAR PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN BOGOTÁ, 2017.
- IDU, LLANTAS Y ASFALTOS RECICLADOS PARA PAVIMENTAR A BOGOTÁ, APUESTA AMBIENTAL DEL IDU A PARTIR DE 2012, 2012.
- Ministerio Nacional De Ambiente, El Gránulo de Caucho Reciclado (GCR) proveniente de las llantas usadas, será utilizado en la construcción de vías en el territorio nacional, 2015.