

GESTIÓN SOSTENIBLE DE LLANTAS USADAS, DESAFÍO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ



DANIEL EDUARDO SANTOS FONSECA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

ESPECIALISTA EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES

Director:

XIMENA LUCIA PEDRAZA NÁJAR

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACION EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES

BOGOTÁ, JUNIO DE 2019

GESTIÓN SOSTENIBLE DE LLANTAS USADAS, DESAFÍO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ

SUSTAINABLE MANAGEMENT OF USED RIMS, CHALLENGE FOR THE CITY OF BOGOTÁ

Daniel Eduardo Santos Fonseca
Administrador Ambiental y de los Recursos Naturales
Universidad Militar Nueva Granada
Bogota, Colombia.
u2700924@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájjar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica
de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS
NATURALES**

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

JUNIO DE 2019

GESTIÓN SOSTENIBLE DE LLANTAS USADAS, DESAFÍO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ

SUSTAINABLE MANAGEMENT OF USED RIMS, CHALLENGE FOR THE CITY OF BOGOTÁ

Daniel Eduardo Santos Fonseca
Administrador Ambiental y de los Recursos Naturales
Universidad Militar Nueva Granada
Bogota, Colombia.
u2700924@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Las llantas cuando terminan su tiempo de uso, se han convertido en uno de los principales detonantes de contaminación ambiental, los neumáticos que son desechados generalmente son sinónimo de manejo inadecuado, ya sea porque son quemados a cielo abierto lo cual causa grandes impactos negativos en el ambiente ya que su combustión genera alta emisión de contaminantes. Los neumáticos abandonados funcionan también como depósito de aguas lluvias, sirviendo de hábitat para insectos vectores de enfermedades. Ante esta problemática se hace indispensable generar estrategias que cambien la tradicional forma en que son desechados estos materiales. En este sentido, en el presente artículo se hace un rastreo por experiencias exitosas en otros países que han hecho posible la reducción de la contaminación producida por estos materiales en la fase final de su ciclo productivo. A su vez, se caracteriza el proceso de transformación de este material en polvo de caucho usado en la actualidad para la construcción y pavimentación de vías, proceso líder en términos de aprovechamiento de las llantas recicladas por la gran utilidad que representa y los beneficios respecto a los materiales convencionales en términos de economía y de vida útil, esto con el propósito de hacer una evaluación del estado actual de ésta como alternativa sostenible, amigable con el ambiente y, por último, concluir con unas referencias normativas de orden Nacional y Distrito Capital que regula actualmente la disposición y aprovechamiento de llantas usadas .

Palabras clave: neumáticos, caucho, residuos, reutilización, normativa.

ABSTRACT

The tires when they finish their time of use, have become one of the main triggers of environmental pollution, the tires that are discarded generally are synonymous with improper handling, either because they are burned in the open which causes great negative impacts on the environment since its combustion generates high emission of pollutants. The abandoned tires also function as rainwater reservoirs, serving as habitat for insect vectors of diseases. Faced with this problem, it is essential to generate strategies that change the traditional way in which these materials are discarded. In this sense, this article traces successful experiences in other countries that have made possible the reduction of pollution produced by these materials in the final phase of its productive cycle. At the same time, the process of transforming this material into rubber powder used at present for the construction and paving of roads is characterized, a leading process in terms of the use of recycled tires for the great utility it represents and the benefits with respect to conventional materials in terms of economy and useful life, this with the purpose of making an assessment of the current status of this as a sustainable alternative, friendly to the environment and, finally, conclude with normative references of National order and Capital District currently regulates the disposal and use of used tires.

Keywords: tires, rubber, waste, reuse, regulations.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el incremento en la compra y uso de vehículos, ha dado lugar a una demanda superior en el consumo de llantas, haciendo parte del grupo de residuos del sector automotriz que mas impacto genera sobre el medio ambiente, “debido a que su composición es una mezcla que incluye muchos insumos (cauchos sintéticos – cauchos naturales) y su masiva fabricación los convierten en un problema medio ambiental” (Martín, 2015).

Ante esta problemática en Colombia, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT 2010) expidió la Resolución No. 1457 de 2010 la cual fue derogada en el 2017, por la Resolución No. 1326 del 6 de junio, norma que se expidió con el propósito de cubrir la necesidad de avanzar en el fortalecimiento en el manejo de llantas usadas ante su creciente demanda, en consecuencia, delegó, en cabeza de los comercializadores del país, la obligación de formular, presentar, implementar y mantener los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas usadas. Sin embargo, esto no ha solucionado la problemática real que genera el manejo inadecuado de este tipo de residuos, pues es evidente que continúan la disposición de llantas en espacio público, cuerpos de agua, áreas protegidas y zonas de recreación.

Aterrizada esta problemática a Bogotá, “se ha estimado una generación de llantas usadas de 2.642.938, pero esta cifra fácilmente aumenta con el pasar de los años ya que la tendencia del parque automotor en los últimos 30 años ha sido incrementar en número” (Díaz y Castro, 2017), situación que ha motivado la generación de estrategias en procura de salidas para atenuar estas problemáticas de tipo ambiental. Una de esas estrategias ha sido el uso de las llantas de usadas como

materia prima para otro tipo de productos, ya que brinda alternativas a su disposición final y reduce el impacto ambiental. Las llantas resultan aportando materiales de gran potencial como caucho, hierro y fibra textil que pueden ser reincorporados a nuevos procesos productivos, por lo que se generan nuevas oportunidades de mercado, bien sea para producir estas materias primas o para procesarlas y convertirlas en nuevos elementos producto del reciclaje.

En este contexto, se desarrolla esta investigación, con el interés de rescatar elementos que permitan caracterizar experiencias exitosas frente al tema, identificar y analizar los procesos de tratamiento de estos materiales para la generación de nuevos productos haciendo especial énfasis en la elaboración de grano de caucho reciclado (GCR), como elemento para la fabricación de asfaltos modificados, para concluir con una referencia del panorama normativo actual Colombiano frente al aprovechamiento de las llantas como material reciclable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio comparativo reconoce ésta como una metodología que brinda elementos para el “diseño de políticas públicas y a la vez, como un parámetro de referencia y una fuente de legitimación” (Piovani, et al 2017), con el propósito de validar experiencias exitosas frente al uso de las llantas recicladas, en el desarrollo de asfaltos. Adicionalmente, se establece un estado del arte para validar las técnicas actualmente desarrolladas para obtener el grano de caucho reciclado (GCR) a partir de llantas de desecho, así como las tareas propias del uso de este para adecuar o mejorar la malla vial, los beneficios a obtener y la evaluación en términos, ambientales, económicos y normativos de la implementación de este tipo de insumos.

El grano de caucho reciclado (GCR) es el material obtenido a partir de la trituración del caucho obtenido de las llantas usadas, “está compuesto por caucho vulcanizado proveniente de

la trituración mecánica y separación de materiales” (Correa Lesmes, 2018), pasando por un proceso de molienda hasta alcanzar un tamaño ideal “para ser utilizado como modificador de asfalto debe ser menor a 6.3 mm” (Rondon Quintana, 2011), por lo que da cumplimiento a estándares de calidad, permitiendo extender la vida útil del material, lo que trasciende al objetivo para el que son producidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experiencias en el uso de llantas recicladas

En Chile, según estudios de Olivares (2016), se vienen generando intentos en la última década por desarrollar procesos para la obtención de gránulo, polvo de caucho y acero en forma de chatarra, provenientes del reciclaje y transformación de llantas. En este sentido, se han generado estudios con el apoyo del MOP (Ministerio de Obras Públicas) y del Instituto Chileno del Asfalto, la empresa Probisa para el mejoramiento del asfalto en base a reciclados de neumáticos.

Por su parte, España, RENEAN ha logrado ser reconocida como una empresa de amplio prestigio en el campo del reciclaje de llantas, desde el año 2005. Esta planta procesa “cerca de 300.000 toneladas al año, destinado al asfaltado de carreteras y la elaboración de césped artificial (RENEAN, 2019).

Como se evidencia, a nivel mundial se ha volcado un interés especial por el aprovechamiento adecuado de las llantas usadas, tanto así, que en materia normativa, países como Costa Rica (Decreto 24824-S Gaceta No. 243 del 22 de diciembre de 1995) y Perú (Decreto Supremo No. 003 – 97 SA del 07 de junio de 1997), han emitido normativas especiales que restringen la importación de llantas usadas.

Ahora bien, en el caso colombiano, el desarrollo de plantas generadoras de nuevos productos a partir de llantas, son gestadas tímidamente en un país en el que existe poca tradición en hábitos que propicien el reciclaje. Las experiencias más destacadas, según Jaime (2017), las desarrolla “El Sistema Colectivo de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas a través de programa dirigido a las personas que usan estos productos, estableciendo canales en los cuales los consumidores disponen adecuadamente de estas llantas finalizado su uso y la planta de reciclaje del cerrejón en la Guajira, construida para aprovechar los equipos mineros y generar polvo de caucho usado para construcción y pavimentación de vías”

Características y usos de las llantas reciclables

El caucho se caracteriza por ser una sustancia elástica con alta resistencia eléctrica, ya sea natural o sintético, éste último proveniente de la preparación de los hidrocarburos saturados. Este material es fabricado para diferentes usos, uno de los más importantes es para la fabricación de neumáticos (llantas), ya que estos “presentan grandes propiedades como la elasticidad, alta resistencia eléctrica y son grandes aislantes de agua y temperatura” (Peláez y Velásquez, 2017).



Figura 1. Proceso de trituración

Para el establecimiento del proceso de trituración de neumáticos con el propósito de obtener el grano de caucho, se parte de la obtención y recepción de las llantas, luego se procede a la trituración a partir de maquinaria especial para este tipo de tareas y culmina con la separación de componentes: caucho en gránulos, nylon y fibra de acero. Dentro de la etapa de adquisición de las llantas en desuso se resalta, que como parte de los intereses que en las últimas décadas se han generado en pro del cuidado del ambiente, se ha dado lugar a que se establezcan plantas especializadas en el reciclaje de este tipo de materiales, lo que se constituye en un elemento que beneficia proyectos como el presentado.

El proceso de separación se presenta a continuación:



Figura 2. Características de trituración GCR

Fuente: Díaz, C. M., Castro, L. C. (2017). Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá: Universidad Santo Tomás.

A partir de procesos paralelos a este, es posible obtener también otros derivados de las llantas tales como: combustible derivado de llantas (TDF), derivado general de neumáticos Reciclados (TDA), mantillo (Mulch), Zonas de Juego (Playground), Césped de Campo (Field Turf), productos moldeados (Molded Products), asfalto (Asphalt), lo que da cuenta de los variados usos que puede darse a este material, lo que permite que el impacto negativo de éste en el ambiente, sea mucho menor del esperado.

Procedimientos para la creación de grano de caucho a partir de llantas recicladas

En cuanto a los métodos para la obtención de este subproducto de las llantas, se destacan los procesos: por la vía seca y por la vía húmeda. El proceso seco “implica la mezcla del grano de caucho reciclado con agregados antes de adicionar el cemento asfáltico a la mezcla” (Ramírez

y Ladino, 2014), no obstante este posee algunas falencias en términos de calidad y de rendimiento lo que ha generado en los expertos desconfianza en cuanto al procedimiento. A continuación, se presentan las fases para su desarrollo:



Figura 3. Proceso de aplicación por vía seca

Fuente: Bisso Fernández, Ricardo. (2010). Llantas usadas en pavimentos. Revista Constructivo.

En este proceso de aplicación, como se observa en la ilustración 1, se encuentra el GCR sustituyendo una parte muy pequeña de los agregados entre el uno (1) y el tres (3) por ciento del peso total de los agregados.

Por su parte, mediante el proceso por vía húmeda, se aumenta la viscosidad del cemento asfáltico “proporcionándole unas características particulares, a partir de la disminución de la docilidad de la mezcla por la exposición a altas temperaturas, lo cual evitan el fenómeno del ahuellamiento” (Garzón y Cárdenas, 2013). Además, a bajas temperaturas, la flexibilidad de la mezcla va a ser mayor donde esto lleva a tener mejor comportamiento ante problemas de fisuración. Para la realización de este método se deben tener en cuenta varios factores que son importantes para obtener el resultado esperado. Los factores a tener en cuenta son: el tamaño, la

textura, la proporción del GCR, el tipo del cemento asfáltico, el tiempo y la temperatura de mezclado, el grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla (GCR con el cemento asfáltico), el componente aromático del cemento asfáltico y el uso de otros aditivos.



Figura 4. Proceso de aplicación por vía húmeda,.

Fuente: Bisso Fernández, Ricardo. (2010). Llantas usadas en pavimentos. Revista Constructivo.

En la ilustración 2, se describe este proceso que es conocido también como proceso McDonald y específicamente consta de un tanque donde se mezcla el betún (cemento asfáltico) con el GCR con una serie de tornillos sin fin para asegurar la circulación de la mezcla para que haya una reacción óptima entre estos dos materiales durante un periodo suficiente (por lo general este periodo esta entre los 45 y 60 minutos), paralelo a esto, se calientan los agregados pétreos (4 y 5) para una mezcla posterior con el cemento asfáltico modificado (6) y poder así ser transportado al lugar de construcción (7). En este transporte se debe mantener una temperatura

específica que va desde los 160°C a los 190°C, para evitar problemas de manejabilidad del material en el campo y pérdidas de propiedades mecánicas.

El grano reciclado en el cemento asfáltico “actúa como un inhibidor del envejecimiento” (Camargo y Suárez, 2010), alargando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo. Según Shen y Amirkhanian (2006), “en los pavimentos flexibles modificados con grano de caucho reciclado, su desplazamiento es directamente proporcional al número de ciclos, generando un pavimento flexible, propiedad favorable debido a que provoca una buena disipación de energía”, y a su vez, los esfuerzos producidos en el pavimento llegaran en menor cuantía en las capas inferiores, aumentando la vida útil de las estructuras y mejorando la capacidad de tránsito.

Además el GCR contiene componentes que pueden ayudar a tener un buen desempeño de los asfaltos y que se pueden identificar como beneficios dentro del proceso de utilización, tales como:

-Negro de Humo: este componente se destaca por su acción específica contra el desgaste de las llantas al contacto con la superficie del pavimento, permitiendo aumentar la duración de esta. En la mezcla asfáltica se ha demostrado que favorecen el aumento de las propiedades de refuerzo del cemento asfáltico y ayuda a disminuir el envejecimiento.

-Antioxidantes que retardan el deterioro del caucho por oxidación.

-Aminas que evitan el endurecimiento progresivo del caucho, el aumento de fragilidad y la pérdida de elasticidad.

-Aceites aromáticos que prolongan la vida de las mezclas asfálticas modificadas con GCR.

Panorama nacional respecto al tratamiento y uso de llantas recicladas

En Colombia, actualmente existen dos instituciones que han establecido especificaciones técnicas para la aplicación de asfaltos modificados con grano de caucho reciclado, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). En la tabla 1, se muestran las características que deben presentar este subproducto para la utilización en mezclas asfálticas según INVIAS.

Tabla 1

Características del GCR según INVIAS

CARACTERÍSTICA	REQUISITO
Humedad	-Máximo 0.75 % de la masa total de la mezcla. -El GCR debe fluir libremente.
Gravedad específica	1.15 más o menos 0.05
Contenido de metales no ferrosos	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos, en masa	Máximo 0.01%
Contenido de fibra en masa, en masa: -Para mezclas en caliente -Para riesgos	Máximo 0.5% Máximo 0.1%
Contenido de polvo mineral (como talco): se suele usar para prevenir que los granos se peguen	Máximo 4.0%
Contenido total de otros elementos extraños, en masa; incluye: -Vidrio -Arena -Madera, etc	Maximo 0.25%

Fuente: INVIAS (2012). Normas y especificaciones 2012 invias. Pavimentos asfálticos. Recuperado de: ftp://ftp.ani.gov.co/Licitación%20VJVGCLP%20001-2016.../CAPÍTULO%204_1.pdf

Por su parte, el Instituto de Desarrollo Urbano determinó como especificaciones para el uso de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros, las que se promulgan en la sección 212 de especificaciones técnicas (IDU):

Tabla 2

Especificaciones del IDU para emulsiones asfálticas modificadas con polímeros

Tipos de emulsiones	Unidad	Norma de Ensayo INV-07	Rompimiento rápido				Rompimiento medio		Rompimiento lento	
			CRR-1m		CRR-2m		CRMm		CRL-1hm	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
1. ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN										
Viscosidad Saybolt Furol		E-763								
a 25°C	s									100
a 50°C	s		20	100	20	300	20	450		
Contenido de agua en volumen	%	E-761	-	40	-	35	-	35	-	43
Estabilidad en almacenamiento		E-764								
Sedimentación a los 7 días	%		-	5	-	5	-	5	-	5
Destilación		E-762								
Contenido de asfalto residual	%		60	-	65	-	60	-	57	-
Contenido de disolventes	%		-	3	-	3	-	12	-	0
Tamizado		E-765								
Retenido en tamiz nº 20 (850 µm)	%		-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.1
Rotura										
Diocilsulfosuccinato sódico	%	E-766	40	-	40	-	-	-	-	-
Mezcla con cemento	%	E-770	-	-	-	-	-	-	-	2
Carga partícula		E-767	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva	
pH		E-768	-	6	-	6	-	6	-	6

Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá. Instituto de Desarrollo Urbano IDU. Emulsion asfáltica modificada con polímeros. Recuperado de: <https://www.idu.gov.co/web/content/7599/212-11.pdf>

Estas normativas entorno al uso de grano procedente del tratamiento de llantas en desuso, responde la iniciativa proveniente de los organismos del estado encargados de proteger el ambiente por aprovechar todos aquellos residuos mediante programas de postconsumo entre los que se incluyen las baterías, los equipos tecnológicos, los plaguicidas, las bombillas y las llantas. Entre estos, se destacan las llantas como producto que puede ser reprocesado en su conjunto, dando lugar a nuevas materias primas, no obstante el problema esta en su comercialización, situación que desestimula las iniciativas que se ha gestado en pro de desarrollar plantas

dedicadas a su procesamiento, pero también a su comercialización como última etapa y objetivo de su quehacer.

Situación opuesta, se evidencia en el éxito en proceso de recuperación y captación de llantas según Rueda Verde, fundación que dispone de 20 puestos en todo el territorio nacional, “la meta es recolectar dos millones de los 2 millones y medio que genera actualmente el país y cada vez se acercan más al objetivo” (Fundación Rueda Verde, 2019).

Esta situación adversa para el mercado de los subproductos de las llantas esta directamente realacionada con la falta de cultura que tiene el país, tanto para apoyar iniciativas para aprovechar materiales en desuso como para la utilización de productos obtenidos a partir de procesamiento de estos, lo que limita las posibilidades de permanencia y de competir en el mercado. Por lo descrito anteriormente, el procesamiento de las llantas es bastante complejo ya que triturar una llanta requiere de un tratamiento que exige maquinaria, tiempos, personal calificado e inversiones y, si los esfuerzos se desarrollan en vano, lo único que queda para este sector es dar marcha atrás.

Otra de las situaciones que truncan el desarrollo de este sector, lo constituye la competencia del mercado internacional, si bien Colombia es un país que empieza a desarrollar infraestructura vial a partir del derivado de las llantas, este “ha sido importado de países como España y Trinidad y Tobago” (Patiño y Rodríguez, 2017), dejando en desventaja las posibilidades para el mercado de producto nacional.

No obstante, y a pesar de las dificultades que actualmente atraviesa Colombia, la producción de subproductos de la llantas respecto a otros países que tienen toda una tradición en la exportación de su producción, se reconoce que en las llantas hay un insumo que alberga

múltiples posibilidades, sin contar con los beneficios que trae para el medio ambiente el abandonar la vieja cultura de disponer estos productos de manera inadecuada.

De otra parte, dentro de los múltiples usos de los subproductos de las llantas, además del grano de caucho para el asfalto, se reconocen: el granulado para canchas sintéticas, calzado, adoquines y reemplazante del aserrín para combustiones, a su vez, si se establecen procesos que “involucran tecnologías físico-químicas también se pueden obtener aceites y combustibles tipo diésel, tras ser refinado” (Fundación Rueda Verde, 2016). Por último, son muchos los casos de erosión que se han evitado usando las llantas en bruto para sostén de las laderas (taludes).

CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis a las diferentes alternativas existentes en el manejo y aprovechamiento responsable de las llantas usadas, se evidenció que existe una intención normativa de los estados de regular esta manteria y lograr un adecuado y optimo manejo de este residuo. Sin embargo, aun no se ha logrado que este propósito sea materializado en un 100%.

Encontramos que la Resolución No. 1326 de 2017 no perdió de vista la necesidad de establecer unas metas de recolección, por lo que que incluyó un rango mucho más amplio del abordado en la Resolución No. 1457 de 2010, en razón a que la curva de aprendizaje permitió identificar los vacios que generaba la realidad actual.

De otra parte, respecto del manejo mas habitual que se ha dado a este material, encontramos que los componentes que tiene el Grano de Caucho Reciclado (GCR) ayuda a que el uso de éste en mezclas asfálticas sea favorable en su comportamiento mecánico y prolongue la vida útil del pavimento. Se logró identificar, dentro de las cualidades que tiene el grano de caucho es que disminuye las fallas superficiales como el ahuellamiento, fisuras superficiales, pieles de

cocodrilo, entre otros ya que por el proceso constructivo de la vía húmeda se logran estas características. En consecuencia, se recomienda que sea aplicado en zonas donde predominen las temperaturas bajas para conservar las características.

Por su parte, la información obtenida a nivel nacional se queda corta. Siendo esto un problema que se puede analizar desde varios ámbitos, la economía, el mercado, el ambiente, por ello es recomendable aumentar la inversión en investigación y apropiación de los avances internacionales, para ponerlos en práctica en la experiencia Nacional y Local.

La implementación de este tipo de estrategias para mejoras en la malla vial pueden llegar a impactar de forma favorable los factores antes mencionados (economía, transporte, la conservación del ambiente, entre otros), ya que el aprovechamiento e implementación del GCR en las mezclas asfálticas, como uno de los principales usos, tendría como resultado, vías más durables, reduciendo gastos y bloqueos en las vías por mantenimiento, aumento de la velocidad en los vehículos, por una reducción de fallas en las vías, como baches, huellas, desgastes, etc., mayor seguridad (mejor agarre de las llantas de los vehículos en el pavimento).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá. Instituto de Desarrollo Urbano IDU. Emulsion asfáltica modificada con polímeros. Recuperado de: <https://www.idu.gov.co/web/content/7599/212-11.pdf>
- Bisso Fernández, Ricardo. (2010). Llantas usadas en pavimentos. Revista Constructivo.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 1457 de 2010 por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2017). Resolución 1326 de 2017 por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones.
- Costa Rica. Decreto 24824-S publicado Gaceta No. 243 del 22 de diciembre de 1995.
Recuperado: www.pgrweb.go.cr
- Camargo, H. E., Suárez, A. (2010). *Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente mdc-2*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Correa Lesmes, C. (2018). Implementación de mezcla asfáltica modificada con grano de caucho en el barrio san carlos de la localidad de tunjuelito.
Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Díaz, C. M., Castro, L. C. (2017). Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

- Fundación Rueda Verde. (2016). *El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar*. Recuperado de: <https://www.ruedaverde.com.co/el-reciclaje-de-llantas-un-mercado-que-todavia-falta-por-explorar/>
- Fundación Rueda Verde. (2019). Política integrada de gestión. Recuperado de: www.ruedaverde.com.co/
- Garzón, E., Cárdenas, A. (2013). Variación de temperatura de los componentes de una mezcla densa en caliente tipo 3 con cemento asfáltico 80-100. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Recuperado de: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/914/2/Variaci%C3%B3n-temperatura-componentes-MDC_tipo-3-cemento%20asf%C3%A1ltico_80-100.pdf
- Jaime Hidalgo, N. A. (2017). Métodos de reutilización de llantas usadas: selección y elaboración de nuevos productos. Bogotá: Universitaria Agustiniiana. Recuperado de: <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/123456789/221/1/JaimeHidalgo-NataliaAlejandra-2018.pdf>
- Latorre Cañon, A. (2008). *La industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda (1996-2005)*. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.
- Martín González, A. (2015). Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica. Valencia, España: Universidad politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55735/MART%C3%8DN%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20del%20caucho%20reciclado%20como%20soluci%C3%B3n%20constructiva%20ecol%C3%B3gica.pdf?sequence=1>

- Olivares Carmona, D. (2016). Planta de reciclaje de neumáticos de caucho. Comercialización de miga de caucho. Antofagasta: Universidad de Chile, 56 p. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140906/Olivares%20Carmona%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Patiño, L. V., Rodríguez, M. A. (2017). Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples ecoaplicaciones. *Revista Ontare*, 5. 34 p.
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S.M. Giraldo Vásquez, D.H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 27 (2). Recuperado de: DOI: [http:// dx.doi.org/10.18359/rcin.2143](http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143)
- Perú. Decreto Supremo No. 003 -97- SA del 07 de junio de 1997. Recuperado: www.saludarequipa.gob.pe
- Piovani, J. I., Krawczyk, N. (2017). Los Estudios Comparativos: algunas notas históricas, epistemológicas y metodológicas. *Educação & Realidade*, Porto Alegre, 42 (3). p. 821-840. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-623667609>
- Ramírez, A., Ladino, I. L., Rosas, J. P. (2014). Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología GAP Grade para la ciudad de Bogotá. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- RENEAN. (2019). El futuro a la vuelta de una rueda. Recuperado de: <http://reanean.com/>
- Rondon – Quintana, H., Molano Mora, Y., Tenjo Lancheros, A. (2012). Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas. *TecnoL*, 29. p. 13-31.

Shen, J., Amirkhanian, S., Tang, B., (2006); Influencia de la temperatura de la prueba de envejecimiento acelerado en las propiedades de los ligantes. *Int. J. of Pavement Eng.*, 7(3), 191-198. recuperado de:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000126&pid=S0123-7799201100020000200027&lng=en