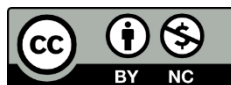


MONOGRAFÍA

**ANÁLISIS DOCUMENTAL DEL USO DE LLANTAS RECICLADAS EN OBRAS CIVILES A
NIVEL NACIONAL**



Felipe Santiago Clavijo Rodríguez



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2021**

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DOCUMENTAL DEL USO DE LLANTAS RECICLADAS EN OBRAS CIVILES A NIVEL NACIONAL



Por:

Felipe Santiago Clavijo Rodríguez

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de
Ingeniero Civil.

Aprobado por:

Mag. Ing. Civ. José Miguel Vanegas Camero

Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO**

2021

Autoridades Académicas

Fray Juan Ubaldo López Salamanca, O.P.

Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.

Vicerrector Académico General

Fray José Arturo Restrepo Restrepo, O.P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

—

—

—

—

MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

—
JOSÉ MIGUEL VANEGAS CAMERO
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, diciembre de 2021.

RESUMEN

El actual documento presenta la investigación realizada para análisis del aprovechamiento de las llantas usadas en obras de ingeniería civil a nivel nacional.

La monografía se desarrolló desde un enfoque cualitativo, y de tipo documental, realizando consultas sistematizadas en repositorios institucionales, bases de datos indexadas y motores de búsquedas académicos.

Los resultados permitieron identificar las principales características y los componentes de las llantas recicladas; así mismo se presentaron las tecnologías existentes para el proceso de reciclaje de llantas en Colombia (tritución y pirólisis) y se determinaron los diversos usos de las llantas recicladas en obras de Ingeniería Civil.

En conclusión, es bajo el porcentaje de reciclaje que actualmente se hace de las llantas usadas en Colombia, siendo la fabricación de pavimentos la actividad que de mayor aprovechamiento de los materiales resultantes de dicho reciclaje.

Palabras clave: llantas, obras, ingeniería civil.

ABSTRACT

The current document presents the research carried out to analyze the use of tires used in civil engineering works nationwide.

The monograph was developed from a qualitative and documentary approach, making systematic queries in institutional repositories, indexed databases and academic search engines.

The results made it possible to identify the main characteristics and components of recycled tires; Likewise, the existing technologies for the tire recycling process in Colombia (crushing and pyrolysis) were presented and the various uses of recycled tires in Civil Engineering works were determined.

In conclusion, the percentage of recycling that is currently made of used tires in Colombia is low, with the manufacture of pavements being the activity that makes the most use of the materials resulting from said recycling.

Keywords: tires, works, civil engineering.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
1. Planteamiento del problema	12
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Justificación	15
4. Estado del arte.....	17
5. Metodología.....	23
6. Desarrollo	25
6.1. Principales características de los componentes de las llantas usadas	25
6.2. Tecnologías existentes para el proceso de reciclaje de llantas en Colombia.....	28
6.3. Usos de las llantas recicladas en obras de Ingeniería Civil	33
7. Conclusiones y recomendaciones.....	37
7.1. Conclusiones.....	37
7.2. Recomendaciones	36
Referencias	39
Anexos	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodología.	23
Tabla 2. Composición de neumáticos	27
Tabla 3. Composición química de los Neumáticos de las llantas (Específica)	28
Tabla 4. Usos del caucho reciclado de las llantas en materiales de construcción	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes de las llantas	25
Figura 2. Destalonadora	29
Figura 3. Cortadora	30
Figura 4. Trituradora	30
Figura 5. Granulador	31
Figura 6. Separadora del acero	31
Figura 7. Granulador secundario (refinación)	32
Figura 8. Horno de pirólisis	33
Figura 9. Porcentaje de aprovechamiento de las llantas importadas en Colombia en el 2020	34

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que las llantas de caucho son fabricadas para soportar trabajo duro, sus materiales cuentan con una serie de características como resistencia, flexibilidad, fuerza, apta para las exposiciones químicas y medio ambientales, lo cual califica la calidad y duración, de la misma forma para que el neumático (caucho) se degrade y desaparezca puede durar de 1 a 5 siglos y al no darles un adecuado uso después de su vida útil permanecerán ahí para siempre, provocando contaminación visual, ambiental y proliferando mosquitos, roedores y otros animales dañinos [1].

En muchas partes del país se tiene la práctica de incinerar las llantas usadas a cielo abierto, lo que puede causar daños en la salud de quienes inhalan el humo, al contraer enfermedades respiratorias y hasta cáncer, ocasionado por la carbonilla y compuestos cancerígenos emitidos al aire, como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos conocido como benzopireno [2].

De ahí la importancia de reutilizar las llantas usadas y aprovechar la materia prima que las componen, por medio de la tecnología mecánica en el cual lleva una serie de procesos para la separación de estos, donde se obtiene aproximadamente 65% de caucho, 15%-25% de acero y el 10%-15% de fibras textiles, aplicando el caucho granulado en la infraestructura, para construcción de vías públicas [3], el acero en el área metalúrgica para la fabricación de alambres, clavos y demás derivados de este material [4], el nylon en el área textil y/o aleaciones plásticas para elaborar cuerdas, lasos, y aleaciones derivados del plástico [5] y en el área energética se utiliza el aceite y derivados del petróleo donde pueden extraer materia ignífuga [2].

El presente documento corresponde a la monografía que tiene por objeto analizar el aprovechamiento de las llantas recicladas en obras de ingeniería civil en Colombia, por lo cual el texto se encuentra dividido en siete capítulos; en los tres primeros se identifica la problemática que originó la investigación, se proponen los objetivos y se presentan las razones que justifican la realización de la monografía.

En el cuarto capítulo se presentan los estudios que se han llevado a cabo, a nivel internacional y nacional, sobre aprovechamiento de llantas usadas, especialmente en las obras civiles.

En el quinto capítulo se identifica la metodología aplicada para el alcance de los objetivos.

En el sexto capítulo se responden los objetivos, pues en él se identifican las principales características y los componentes de las llantas recicladas, se presentan las tecnologías existentes para el proceso de reciclaje de llantas en Colombia y se determinan los diversos usos de las llantas recicladas en obras de Ingeniería Civil.

En el último capítulo se expresan las conclusiones a las que se llegó por el desarrollo de la monografía y se realizan las recomendaciones acordes a los resultados obtenidos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los últimos años, las llantas se han convertido en un tema de gran importancia, debido a los riesgos que generan la mala disposición y almacenamiento de las mismas luego de su vida útil, esta disposición no se efectúa de una forma segura y transparente, la mayoría de las llantas fuera de uso se encuentran en andenes, separadores, parques, humedales e incluso frente a las casas. La acumulación de estos materiales y su equivocada disposición, han ocasionado altos niveles de contaminación ambiental, esto incrementa la posibilidad de incendios y la posible emisión de gases tóxicos, además la reproducción de roedores, insectos y otros posibles focos de contaminación que ponen en riesgo la salud de la población.

Colombia cuenta con un gran mercado de llantas, y por ende un alto volumen de generación de este residuo; el Ministerio de Medio Ambiente estimó que en Colombia en el 2008 hubo un consumo de 4.493.092 llantas de camiones, busetas, automóviles y camionetas, esto es el equivalente a 61.000 toneladas de residuos de llantas al año [6].

Cada año en Colombia aumenta la venta de vehículos automotores, según cifras de la Asociación Colombiana de Vehículos Automotores, a cierre del año 2018 la cifra de ventas ascendió a 256.662 unidades, cifra que representó un aumento del 7,7 % con respecto al 2017; junto con este aumento crece el número de neumáticos fuera de uso que ocupan las calles de las principales ciudades del país. En la ciudad de Bogotá para el año 2020 fue de 3'907,278 vehículos automotores, cifra de gran significancia que traerá consigo un exagerado aumento de la contaminación ocasionada por la falta de una política de disposición final que cobije la cantidad de neumáticos fuera de uso que se generan diariamente. [7]

Desde hace varios años se busca darles una completa solución, pero hasta el momento no se ha encontrado una alternativa óptima. “El tratamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos se ha convertido en una oportunidad para lograr que diferentes materiales sean reincorporados a procesos productivos, alargando de esta manera la vida útil y disminuyendo los impactos ambientales negativos generados por los diferentes productos y materiales, no obstante, para el año 2016 se registró que sólo se reciclaba el 20% de este material” [8].

De igual forma, Abraham et al. [9], entre otros autores han evaluado la posibilidad de reciclar las llantas teniendo en cuenta que, por su composición, pueden aprovecharse para otros usos. Existe una gran cantidad de procesos ya desarrollados en obras civiles para el reciclaje de llantas, los cuales dependen del uso que se le dará al material que se obtenga luego de reciclar la llanta.

Además, hay que tener en cuenta que a nivel nacional no existe mayor normatividad que reglamente la destinación de las llantas usadas, sólo la Resolución 1326 de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [10], en la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones, entre ellas obliga a la empresas productoras de llantas a crear y ejecutar un programa de posconsumo de llantas de automóviles, camiones, bicicletas, motocicletas, motociclos, ciclomotores y llantas de vehículos fuera de carretera (tractores, combinadas...), en donde se incluye el aprovechamiento de dicho residuo mediante actividades como la utilización de las mismas en construcción de taludes, jarillones y tuberías, canchas sintéticas, construcción de vías urbanas con asfalto modificado con Gránulo de Caucho Reciclado [GCR], teniendo como meta que para el año 2023 se habrán recolectado el 80% de las llantas usadas, aunque a un año de dicha meta no se ve mayores resultados. No obstante, existen administraciones, como la de Bogotá, que se ha tomado la norma muy en serio, por ello promulgó el Decreto 442 de 2015, con el que nació el programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital, norma que fue modificada por el Decreto 265 de 2016.

La presente monografía, además de mostrar la situación actual a nivel Nacional en cuanto a la gestión de las llantas fuera de uso, retoma los procesos de reciclaje que más se han incorporado en la actualidad a las obras de Ingeniería Civil, elementos de tránsito a partir del gránulo de caucho reciclado tales como: tachas reflectadas, reductores de velocidad, separadores, sardineles, elaboración de pisos decorativos, tejas, contención de taludes, reparacheo ecológico, entre otros; esto con el fin de apartar el uso de elementos naturales y sus derivados y así evitar la degradación del ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar el aprovechamiento de las llantas recicladas en obras de ingeniería civil en Colombia.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar las principales características y los componentes de las llantas recicladas.
- Investigar las tecnologías existentes para el proceso de reciclaje de llantas en Colombia.
- Determinar los diversos usos de las llantas recicladas en obras de Ingeniería Civil.

3. JUSTIFICACIÓN

Las llantas usadas son residuos que después de ser utilizados tardan mucho tiempo en descomponerse, sin embargo, su reciclaje y reutilización constituyen una actividad de gran beneficio económico y medio ambiental [11]. Desde el punto de vista medio-ambiental representan una solución a la contaminación que la mala disposición de estas genera, así mismo desde el punto de vista económico la reutilización de este producto permite la fabricación de materia prima ampliamente utilizada en el sector constructor, en la actualidad el caucho proveniente de las llantas usadas es utilizado como componentes de la mezcla asfáltica para la pavimentación de vías [3].

Desde el punto de vista de la reutilización como materia prima, se debe tener presente que, en un neumático, alrededor de un 60% de su composición son cauchos naturales o sintéticos, con posibilidades de ser utilizados en otras aplicaciones. El caucho granulado reciclado de neumáticos se obtiene a través de la trituración de éstos y la separación de los componentes que los constituyen, principalmente el acero y las fibras textiles. La trituración del neumático se realiza principalmente por dos métodos, uno a temperatura ambiente y otro criogénico. El primero de ellos, consiste en un proceso puramente mecánico de trituración, donde los distintos tamaños de los granos de caucho dependen de las etapas a las que se halla sometido. En segundo lugar, en la trituración criogénica, los neumáticos se someten a baja temperatura, con lo cual el caucho se vuelve frágil y fácil de destrozarse en pequeñas partículas [12].

Para dar solución al problema de disposición generado por el mal manejo de este residuo, se pretende proponer nuevas aplicaciones para los residuos de llantas usándolas en obras de ingeniería civil. Para la aplicación en estos usos el caucho reciclado proveniente de las llantas usadas ofrece excelentes características como: impermeabilidad, amortiguación, aumento de fricción para la prevención de caídas.

Existen varios estudios que se han desarrollado teniendo como tema central el aprovechamiento de las llantas recicladas en obras civiles [13] [14] [15], no obstante, no se ha encontrado un documento que consolide el estado del arte sobre este tema en Colombia, especialmente en la aplicación actual en el sector de construcción, y mucho menos que haga un

análisis de ello, por ello la presente monografía se enfoca en analizar el aprovechamiento de las llantas recicladas en obras de ingeniería civil en Colombia, convirtiéndose en una material de consulta importante para las personas que quieran profundizar en los usos de este material reciclado.

4. ESTADO DEL ARTE

En el documento “Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas” hecho por la Organización Panamericana de la Salud, se evidencia la gran problemática que genera la disposición final de las llantas usadas, pues ha llegado a representar un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública. En efecto, las llantas son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan mucho espacio. Su almacenamiento en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir. Su uso como combustible en hornos que no cuentan con la tecnología de control adecuada genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera. Por otro lado, las llantas usadas almacenadas se convierten en un lugar favorable para la reproducción de diferentes vectores que ponen en riesgo la salud de la población [16].

La presente monografía retoma los procesos de reciclaje que más se han incorporado en la actualidad a las obras de ingeniería civil a nivel nacional, por ello se consideró “la guía para el manejo de las llantas usadas” de la Cámara de Comercio de Bogotá, la cual tiene como propósito concientizar a cada uno de los usuarios de llantas de su responsabilidad en la conservación de los recursos naturales, y lograr, a su vez, que incorporen en sus actividades cotidianas, sencillas prácticas de manipulación, como pueden ser: una adecuada operación de su vehículo, la aplicación de técnicas de mantenimiento preventivo para las llantas y la disminución de los impactos que deterioran el ambiente con solo llevarlas a lugares donde se garantice su adecuada disposición desde el punto de vista ambiental [6].

Es de anotar que la investigación “Guía de buenas prácticas ambientales y económicas para el manejo adecuado de llantas usadas en la terminal de transporte terrestre de la ciudad de Bogotá D.C.” muestra la iniciativa de crear una guía que enseñe a las empresas transportadoras a reciclar estos elementos de una manera sencilla y con beneficios económicos. Los neumáticos reciclados representan grandes oportunidades de mercados y entradas económicas, a pesar de las tecnologías que se han implementado para su reutilización, este mercado no ha sido explotado apropiadamente y este material constituye la materia prima para transformarse en productos nuevos que a diario son consumidos por la población en general, la investigación trae claros ejemplos en usos como GCR, canchas sintéticas, artesanías, pisos de caucho, suelas de zapato entre muchos otros. [17]

Esta investigación se puede determinar que existe unos niveles elevados de oportunidades para el reciclaje y posterior consumo de estos elementos, garantizando en esta actividad, una disminución importante en la contaminación de la capital y de todas las ciudades en general, ya que se disminuye inicialmente el uso de hidrocarburos como el petróleo para la producción de llantas, a su vez se reducen otros derivados del petróleo usados para la producción de estas, se reducen los efectos de contaminación que genera el cargue y transportación de las mismas, y finalmente los efectos ocasionados cuando se desechan las llantas en tiraderos comunes, esto resumen que una gran cadena de agentes contaminantes están siendo eliminados de raíz al realizar un posconsumo de estos elementos. [17]

En la actualidad se pueden utilizar diversos métodos para la recuperación de llantas y/o su eliminación controlada con el propósito de minimizar los impactos ambientales asociados con su inadecuada disposición. La trituración es uno de ellos, este consiste en reducir el tamaño de las llantas a través de diferentes técnicas con el fin de separar el caucho de elementos como el acero y los textiles. El caucho obtenido puede emplearse para la fabricación de nuevos productos y diversas aplicaciones civiles e industriales, como canchas de tenis sintéticas, tapetes, entre otros [6].

El resultado de la trituración (Gránulo de Caucho Reciclado [GCR]), se puede utilizar en la elaboración de pavimentos flexibles, además de ayudar a solucionar la problemática ambiental generada por las llantas usadas, puesto que proporciona en sus compuestos caucho natural y cauchos sintéticos que le brindan al pavimento elasticidad y mayor resistencia a la fatiga. Por otro lado, el negro de humo que estas contienen actúa como antioxidante en el ligante, atenuando su envejecimiento y por ende prolongando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo. Las mejoras en las propiedades mecánicas y el incremento de la vida útil del mismo (entre 58 y 230%), hace que la relación beneficio-costos sea mayor comparada con la de un pavimento con una mezcla asfáltica convencional. Adicionalmente se reducen los problemas de separación de agregados, la cual llega a valores entre el 2 y 4% [6].

A su vez, en el estudio “Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, ligantes hidráulicos y emulsiones asfálticas” se caracterizó el material de desecho denominado RAP, el empleo de pavimentos reciclados promete un menor consumo de recursos naturales y energía, ya que la reducción del calor necesario para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, hace más amigable con el medio ambiente el uso de pavimentos asfálticos. No obstante, la cuantificación de estos beneficios e impactos en el medio ambiente aun es desconocida y mediante la realización de ensayos granulométricos para conocer sus características granulométricas y así proceder a fabricar una mezcla asfáltica a

partir de este material y luego proceder a estudiar la variación de las resistencias de la mezcla asfáltica con diferentes adiciones de cemento portland, analizando la influencia del contenido de agua en la mezcla bituminosa en frío con cemento hidráulico. [14]

En otro estudio, titulado “Aplicación de caucho reciclado para uso en pavimento rígido; revisión, análisis y perspectiva de investigación” se presentan diferentes autores que han ensayado con la aplicación del caucho en el concreto, afirman que este puede ser reemplazado en parte de los agregados en una mezcla de hormigón, mediante el uso de cilindros y adoquines utilizados en vías con tránsito liviano o bajo. Al añadir grandes porcentajes de caucho reciclado a los cilindros, su desempeño disminuye al no alcanzar las resistencias de un concreto convencional, sin embargo, al adicionar aditivos o acelerantes mejoran los resultados en cuanto a ensayos de compresión y flexión, además de aliviar el peso de la mezcla. [15]

Al añadir grandes porcentajes de caucho reciclado a los cilindros, su desempeño disminuye al no alcanzar las resistencias de un concreto convencional, sin embargo, al adicionar aditivos o acelerantes mejoran los resultados en cuanto a ensayos de compresión y flexión, además de aliviar el peso de la mezcla. De los antecedentes tanto nacionales como internacionales encontrados en las diferentes bases de datos, se muestra que predominan aquellos que aplican caucho reciclado como reemplazo del agregado fino y del volumen total de los agregados. [15]

En este trabajo concluyen que la mayoría de estudios se inclinan hacia la evaluación de la sustitución de caucho como reemplazo de agregados finos y gruesos en especímenes de concreto, con el fin de disminuir progresivamente la problemática ambiental en el país. A pesar de que diferentes organizaciones y empresas en Colombia, han realizado estudios para darle una solución a esta problemática, no han sido suficientes para permitir un mejor aprovechamiento del neumático desechado, por ejemplo, utilizando sus características y propiedades en materiales de construcción en el área de la ingeniería civil y de esta manera mitigar el daño ambiental. [15]

Así mismo, la monografía titulada “Iniciativas nacionales para el reciclaje de llantas usadas en Colombia” muestra la situación actual a nivel nacional y mundial en cuanto a la gestión de neumáticos fuera de uso, retomó los procesos de reciclaje que más se han incorporado en la actualidad: trituración, termólisis, pirólisis, incineración, mezcla con otros materiales y regeneración del material del neumático; aunque también evaluó la sostenibilidad de cada uno de estos procesos y determinó que según el caso en Colombia, los procesos que deberían incorporarse para permitir una correcta gestión de los neumáticos deben ser los relacionados con trituración mecánica y mezcla con otros materiales. Estos dos procesos de

reciclaje permiten incorporar el residuo de nuevo en la cadena de suministro a un costo bajo, sin generar un alto impacto en el medio ambiente y, además, generando ingresos económicos y creando cultura de reciclaje en el país [18].

En esa misma línea, el estudio “Implementación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá” sintetiza diferentes investigaciones a nivel internacional donde se demuestra que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos y mitigar impactos ambientales que genera el mal manejo de las llantas deshechas. [19]

Dicho estudio manifiesta que la adición de GCR en las mezclas asfálticas, es de gran beneficio, debido a las investigaciones que se han avanzado en los últimos años, han demostrado que este tipo de modificaciones son más durables con respecto a las convencionales, económicas a largo plazo pues se disminuyen los mantenimientos y aumenta su durabilidad, además contribuyen a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente como lo son, la quema indiscriminada de las llantas desechadas dando paso a las emisiones de CO₂, uno de los gases tóxicos más contaminantes del mundo causantes del calentamiento global, entre otros y además este trabajo resume las ventajas y desventajas técnicas, económicas y ambientales que se obtienen al hacer uso del grano de caucho reciclado para mejorar las mezclas asfálticas. [19]

También, el estudio titulado “Utilización de mezcla asfáltica natural (MAN), procedente de la mina San Pedro, ubicada en el municipio de Armero Guayabal, departamento del Tolima, Colombia, con adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para reparcheo localizado. Reparcheo ecológico”, se orientó al uso del material reciclado en pavimentos, ya que tuvo como propósito evaluar, comparar y producir un asfalto 100 % ecológico y ambientalmente sostenible, mediante la utilización de Mezcla Asfáltica Natural (MAN). Dicha mezcla es procedente de la mina San Pedro, ubicada en el municipio de Armero Guayabal, departamento del Tolima, Colombia, y contiene adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para reparcheo localizado. Reparcheo ecológico.

Además, se pudo concluir que al utilizar los residuos de las llantas usadas como modificador de mezclas asfálticas naturales (MAN) en el campo de las obras civiles se reducirían tiempos de ejecución y problemas de movilidad. Se realizarían trabajos limpios y sin materiales de escombros. De igual forma, reparcheos más duraderos y resistentes, rehabilitación de cruces de servicios domiciliarios en tiempo récord, nivelación de cargues superiores en pozos de

inspección y juntas deterioradas, construcción de reductores de velocidad con diseño propio, ayudando a la movilidad de los vehículos y a la comodidad de los usuarios. [20].

Además de investigación empírica para el uso de las llantas usadas en el desarrollo de mezclas asfálticas, también se han llevado a cabo estudios sobre su posible aplicación en otros materiales constructivos, como por ejemplo en el estudio “Evaluación preliminar del comportamiento de láminas de caucho reciclado como elemento de apoyo en modelos de vigas simplemente apoyadas sometidas a vibraciones horizontales” determinaron que en la actualidad, hay varios estudios relacionados con el uso que se le puede dar al caucho reciclado, motivados por la cantidad descontrolada de neumáticos desechados y por la afectación agresiva que este material genera al medio ambiente; en este documento se encuentra enmarcado como una solución técnica, ambiental como opción de elemento para apoyo de estructuras, ensayado inicialmente en modelos de vigas simplemente apoyadas. [13]

A pesar de que el neopreno es considerado un material efectivo y seguro, pues logra integrarse a nivel estructural de manera óptima; se pueden buscar alternativas de materiales cuyas características sean similares o equivalentes a este material con el fin de tener opciones en el momento de escoger los materiales para la construcción de infraestructura vial. Si bien el diseño de estos apoyos busca brindar entre otros aspectos, una adecuada transmisión de las cargas del tablero a las pilas, desplazamientos horizontales en dos direcciones distintas, giros en tres ejes diferentes, absorción de las cargas verticales y horizontales; adicionalmente, se puede ver un aporte positivo de las láminas de caucho reciclado como una combinación de soluciones de tipo técnico, ambiental y funcional. A partir de esta consideración, se da inicio al análisis de las propiedades físico-mecánicas de la lámina de caucho y del neopreno, lo que permite evidenciar el acercamiento entre estos dos materiales y la optimización de la información frente a la aplicabilidad en los modelos físicos construidos.

El diseño de estos apoyos busca brindar entre otros aspectos, una adecuada transmisión de las cargas del tablero a las pilas, desplazamientos horizontales en dos direcciones distintas, giros en tres ejes diferentes, absorción de las cargas verticales y horizontales. [13]

Entre tanto, el estudio “Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos”, desarrolla una recopilación de información alrededor del tema de pisos y el de reciclaje de llantas para su utilización como materia prima en la elaboración de pisos decorativos de caucho. Realizan una propuesta de un proceso industrial para la obtención de pisos decorativos a partir de llantas usadas, las cuales son convertidas en arenas plástica mediante reciclaje mecánico. Esto representa una gran oportunidad de mercado, para proponer nuevos

tratamientos y aplicaciones de residuo de llantas, dando solución al problema de disposición de llantas y creando procesos innovadores de reciclaje y aprovechamiento de residuos. [8]

De otro lado, el estudio “Plan de negocio para la creación de una empresa de reciclaje de llantas en Bogotá para producción de materia prima para asfalto y baldosas de caucho”, se evalúa la creación de una empresa que sea sostenible y que, en sus procesos sea amigable con el medio ambiente, también se fomenta el desarrollo de la industria nacional. Como pilar principal del proyecto se encuentra la reutilización de las llantas desechadas por medio del triturado de las mismas, cuyo producto GCR final (Gránulo de Caucho Reciclado) es utilizado como materia prima en la fabricación de productos como baldosas de caucho para gimnasios, césped sintético y mezclas asfálticas, solucionando los problemas de salubridad que se presentan debido a su almacenamiento. [21]

Y por último, el estudio titulado “Propuesta de negocio para la implementación de una empresa recolectora de llantas usadas para transformarlas en tejas de cauchos (Tejauchos) en la ciudad de Villavicencio” tiene como finalidad contribuir con mejores alternativas para la protección y conservación del ambiente, ya que son muchas las problemáticas que se generan con la mala disposición final de las llantas, Tejauchos será una empresa dedicada a la creación de tejas de caucho a través del reciclaje de las llantas, dando paso a la reutilización del material por medio técnicas convencionales, haciendo de las llantas un nuevo producto con un tiempo de vida favorable al usuario, que no genere impactos negativos y ayuden al desarrollo industrial de la ciudad y dando solución a una problemática ambiental. [22]

5. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para la presente monografía tiene en cuenta diferentes fuentes al momento de recolectar la información, por cuanto se indagan bases de datos y búsqueda de bibliografía de documentos científicos, revistas, informes, trabajos de grado, institucionales y personales. Se toma información cualitativa y cuantitativa que muestra la evolución de la investigación relacionada con el uso de llantas recicladas en obras de ingeniería civil, en el contexto nacional. De igual manera, se analiza y aborda el problema de caucho reciclado partiendo de lo general a lo particular, centrándose en los parámetros que permiten definir las características del comportamiento mecánico del caucho y su reutilización en diferentes usos en obras de ingeniería civil, como reemplazo de agregados en el concreto, mezclas en pavimentos rígidos, capas asfálticas, ligantes hidráulicos, emulsiones asfálticas, reparcheos ecológicos, pisos de caucho, pisos decorativos, baldosas de caucho, tejas de caucho, muros de contención, lamias de caucho como elementos de apoyo en vigas de puentes, entre otros; indagando sobre aspectos desde sus propiedades y características del material hasta los porcentajes de sustitución del caucho reciclado, relación agua cemento, valores de resistencia a la compresión (en PSI).

El tipo de investigación que se está desarrollando es mixta y se hace el desarrollo metodológico a para lograr cada objetivo planteado, en el siguiente formato tabla:

Tabla 1. Metodología.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Conocer las principales características de los componentes de las llantas usadas	Búsqueda de información sobre los componentes de las llantas	Realizar búsqueda de información sobre las características, y ciclo de vida de las llantas usadas	Estudiante
	Investigación documental sobre las	Investigación sobre tecnologías para definir los procesos	
Investigar los procesos para el reciclaje de llantas.	tecnologías existentes para el reciclaje de llantas	para lograr convertir el residuo de llantas en un producto final	Estudiante

Recopilar información sobre los diversos usos en obras de Ingeniería Civil de llantas recicladas.	Investigación del estado del arte del tema	Recopilación de información sobre los diversos usos de las llantas usadas en obras civiles y temas a fin sobre ingeniería civil	Estudiante
---	--	---	------------

Nota. Elaboración propia.

6. DESARROLLO

Luego de realizar la correspondiente revisión de literatura se encontraron los siguientes hallazgos:

6.1. Principales características de los componentes de las llantas usadas.

Independiente del tipo de llantas, estas son un conjunto de componentes que se fabrican y ensamblan con el fin de garantizar su correcto funcionamiento. Cada uno de los componentes posee una función específica y es constituido por una mezcla particular de materias primas. Las llantas están compuestas por diferentes elementos como: Banda de rodamiento, Paredes (costados), Hombro, Talones, Telas de cuerpo (carcasa), Telas estabilizadoras (cinturones estabilizadores), Relleno del talón (Chafer) [8]. En la figura 1 se muestran las principales partes que componen una llanta.

Figura 1.

Partes de las llantas



Nota. Partes de un Neumático, Bridgestone.

Banda de rodamiento. Es el componente de la llanta más resistente al desgaste por estar en contacto con el camino. La banda de rodamiento tiene que ser diseñada para poseer resistencia al desgaste, tracción, rodado silencioso y baja generación de calor.

La goma (**caucho**) de la banda de rodamiento está compuesta de una mezcla de SBR extendido en aceite y elastómeros de polibutadieno (en neumáticos de gran tamaño también se usa caucho natural) que tiene que ser formulada con adición de negro de humo, aceites, agentes vulcanizantes, y otros compuestos químicos y pigmentos. La composición de la goma (caucho), la forma de la sección transversal del rodado, el número de ribetes y surcos, y el diseño de los elementos de la banda de rodamiento son importantes en la determinación de la calidad del desgaste, la tracción y la generación de temperatura de la llanta. [8]

- **Paredes (costados).** Son las porciones del contorno de la llanta entre los talones y la banda de rodamiento que tienen las funciones primarias de soporte y control en el manejo. El término pared también es utilizado para referirse al caucho que cubre a la carcasa y protege de daños por los bordes del camino. El caucho de la pared es un compuesto de alta flexibilidad y resistente al clima.

- **Hombro.** Es la porción superior de la pared justo bajo el borde de la banda de rodamiento. El diseño de los hombros afecta la generación de calor en la llanta y las características de control direccional. [8]

- **Talones.** Están compuestos por alambres de acero de alta tenacidad conformados en un aro inextensible. Las funciones del talón son anclar las telas de cuerpo (carcasa) y retener el ensamble de la llanta con el aro (rin). La forma o contorno del talón se adapta al borde de la rueda para prevenir que la llanta se deslice y desasiente del aro. [8]

- **Telas de cuerpo (carcasa).** Son capas de cuerdas que se extienden de talón a talón y son los miembros estructurales y de refuerzo de la llanta. Las telas son volteadas hacia arriba alrededor del talón, por lo que permiten bloquear al talón en la carcasa de la llanta. [8]

Telas estabilizadoras (cinturones estabilizadores). Son capas angostas de cuerdas colocadas directamente debajo de la capa de rodadura de la llanta. Las telas estabilizadoras son de ángulo mayor que el de las telas de la carcasa y actúan restringiendo el movimiento de éstas. Debido a la alta rigidez, las telas estabilizadoras permiten que la llanta resista deformaciones en el área de contacto de la banda de rodadura con el camino. Las telas estabilizadoras deben ser diferenciadas de las telas bajo rodado (Cap – Ply) que algunas veces se usan en la corona de la llanta. Las telas bajo rodado (Cap – Ply) tienen un ángulo algo diferente al de las telas de cuerpo, pero no las restringen. Innerliner, es el sellante, es una capa delgada de caucho en el interior de la llanta cuya función es contener el aire comprimido. [8]

- **Relleno del talón (Chafer).** Son cintas angostas de material colocadas alrededor del exterior del talón para proteger las telas de cuerpo (carcasa) contra el desgaste o cortes del aro (rim), distribuyen la flexión sobre el aro y previenen la penetración de humedad y contaminación dentro del neumático. [8]

Es de anotar que las partes de las llantas que contiene caucho para reciclarlo son: la banda de rodamiento, la carpa de rodado, la base de Rodado, la goma de amarre de estabilizadores, la pared y el talón. La carcasa o cuerpo de telas está compuesta por Nailon, para el cual no existe una aplicación conocida. El acero proveniente de los alambres del talón es vendido a empresas fundidoras [8].

Los neumáticos son el contacto directo de los vehículos con el suelo y por ello se deben cumplir ciertas funciones como son:

- **Guiar:** Están diseñadas para soportar diferentes condiciones del terreno y los diferentes climas, soportando los esfuerzos transversales al cambiar la trayectoria.
- **Dar soporte:** Las llantas tienen la capacidad de soportar el vehículo y resistirlas transferencias de movimiento al acelerar y frenar. Las llantas de un automóvil pueden resistir hasta 180 kg sin sufrir ningún daño.

Amortiguar: las llantas controlan y absorben las irregularidades del terreno, es por ello por lo que aumenta la comodidad del conductor, es más seguro el vehículo y se prolonga la vida de sus partes.

Tabla 2.

Composición de neumáticos

Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural-deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1.2	2.1	Catalizador
Material textil	5	0	Esqueleto Estructural
Acero	15	25	Esqueleto Estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

Nota. Tomado de Castro [23].

En cuanto a la composición del neumático, de acuerdo con Zarín [24] el 25% de la formulación corresponde a cauchos naturales, el 15% a cauchos sintéticos, el 14%, agentes químicos como las sustancias acelerantes; el 13% corresponde a refuerzos metálicos y el 5% son refuerzos textiles. El 25% corresponde a las cargas de refuerzo, que contienen negro de carbono y sílice. La proporción de cada compuesto se muestra en la tabla 2.

La formulación del neumático de la llanta se asemeja a una receta de cocina, cada compuesto es un “ingrediente” que dependiendo de la proporción añadida le confiere ciertas características al producto final. De acuerdo con Castro [23] la formulación del neumático está compuesta de siete materiales: Rellenos reforzantes, fibras reforzantes, plastificantes, agentes vulcanizantes, retardantes y otros componentes.

El negro de humo actúa como relleno reforzante, este le aporta al neumático una alta tenacidad y resistencia al desgaste, resistencia a tracción y torsión. Las fibras textiles le brindan resistencia al neumático. Los plastificantes (generalmente derivados del petróleo) se añaden para facilitar la homogenización de los demás componentes a través de la modificación de la viscosidad. Para promover la reacción de vulcanización (entrecruzamiento de las cadenas del caucho) se utiliza como agente el azufre. Para acelerar la reacción de utilizan compuestos como el óxido de zinc y ácido esteárico. Los retardantes son compuestos que se añaden para evitar la pre vulcanización del caucho, para las llantas se utiliza N-nitroso difenil amina. Se añaden otros componentes como Antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos que inhiben otros procesos que perjudican el material.

La composición química de los neumáticos varía dependiendo del país y del uso al que estén destinados, a continuación, en la tabla 3 se muestra la composición elemental.

Tabla 3. Composición química de los Neumáticos de las Llantas (Específica)

Composición química de los Neumáticos de las Llantas (Específica)

Elemento	Porcentaje
Carbono (C)	70
Hidrógeno (H)	7
Azufre (S)	1-3
Cloro (Cl)	0.2-0.6
Hierro (Fe)	15
Óxido de zinc (ZnO)	2
Dióxido de silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97-ppm
Níquel (Ni)	77-ppm
Plomo (Pb)	60-760ppm
Cadmio	5-10ppm
Talio	0.2-0.3ppm

Nota. Tomado de Zarín [24].

Es de anotar que de acuerdo al tipo de llanta pueden variar los componentes de esta, ante ello es preciso mencionar que los tipos de llantas en vehículos pequeños y camiones más comunes son [25]:

- Llantas diagonales y radiales: estas están tejidas con capas alternas que se entrecruzan en la carcasa de forma diagonal, estas se pueden encontrar entre 6 y 8 capas para vehículos y hasta 12 o más en el caso de los camiones. Es por ello por lo que son regidas y pueden llegar a ser inestables.
- Llantas asimétricas y direccionales: tienen una dirección específica de las capas en su montaje ya que tiene el mismo perfil. Las asimétricas tienen diferente diseño en la parte interior y exterior esto permite que una parte se optimice para drenar el agua, y la otra parte mejora el agarre en superficies planas
- Llantas Runflat: son reforzadas lo cual permite que siga rodando entre 50 y 100 km sin aire, y evita que se deformen cuando pierden presión.

6.2. Tecnologías existentes para el proceso de reciclaje de llantas en Colombia.

El proceso de reciclar llantas en Colombia se basa en la obtención del caucho en arena plástica o gránulo, para lo cual se utiliza la siguiente maquinaria:

Destalonadora: esta es usada para la extracción del alambre de acero que está en el interior, son dos anillos que al no extraerlos por su dureza puede causar ineficiencia en el proceso continuo [8].

Figura 2.

Destalonadora



Nota. Tomado de Viva en Italia.

Cortadora: es la encargada de realizar la primera trituración por lo que cuenta con transmisión hidráulica y mínimo dos ejes donde se encuentran las cuchillas de corte. De este proceso se obtiene grandes torsos de llantas de diferentes tamaños [8].

Figura 3.

Cortadora



Nota. Tomado de Viva en Italia.

Trituradora: Esta es la segunda trituración donde se reducen los trozos de llantas del proceso anterior, por lo que esta debe contar con una perilla o red metálica para la calibración del tamaño [8].

Figura 4.

Trituradora



Nota. Tomado de Viva en Italia.

Granulador: Esta máquina es la encargada de granular los pedazos de las llantas del proceso anterior se puede llegar a obtener granos de dimensión de 16mm [8].

Figura 5.*Granulador*

Nota. Tomado de Viva en Italia.

Separación de acero (desmetalizado): con este proceso se busca separar las partículas ferromagnéticas con ello se separa el 99% del acero que tiene las llantas, estas son removidas con un separador magnético que cuenta con una banda transportadora y conduce el metal hacia el punto de recolección [8].

Figura 6.*Separadora del acero*

Nota. Tomado de Viva en Italia.

Granulador secundario (refinación y selección del grano): El Material se lleva por medio de una banda que transporta hacia un cernidor rotativo en el cual se seleccionan los granos en diferentes grupos según el tamaño. Con este proceso los granos van a caer en diferentes contenedores teniendo en cuenta la granulometría que puede ir de 1 a 7mm [8].

Figura 7.

Granulador secundario (refinación)



Nota. Tomado de Viva en Italia.

Durante el proceso de “cribatura”, es decir la separación granulométrica, los granos van a caer en diferentes tolvas contenedoras las cuales en su parte inferior tienen enganchados bigbags (grandes sacos), en manera que durante la caída los granos se depositen en los sacos [8].

También existe el proceso de Pirólisis (horno totalmente sellado que no genera emisiones y produce combustible), aunque es muy poco utilizada debido a la alta inversión que se debe hacer.

De allí se producen elementos como carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso), que surgen a partir del aprovechamiento de las llantas [26].

El Gas es utilizado para el abastecimiento del mismo equipo que realiza el pirólisis.

El Aceite se envía a Industria Ambiental, mediante la recolección que realiza una empresa avalada para este fin.

Con la Ceniza y arena se fabrican los Ecobloques de manera manual o artesanal y son utilizados como senderos peatonales, para el consumo interno de las diferentes plantas.

Figura 8.*Horno de pirólisis*

Nota. Tomado de Thermal Cleaning.

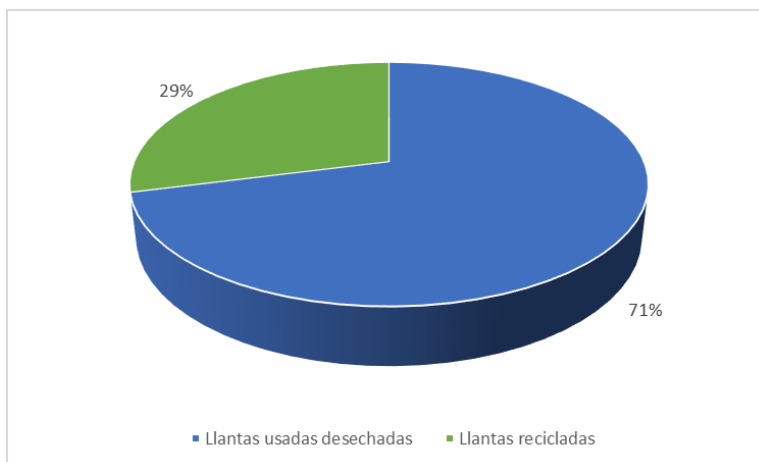
Otra técnica de aprovechamiento de las llantas usadas es el proceso de incineración, el cual es usado especialmente en la industria cementera como un combustible auxiliar para los hornos [27].

6.3. Usos de las llantas recicladas en obras de Ingeniería Civil

Es de anotar que de acuerdo a la Revista Semana [28] en Colombia se importaron para el año 2020 1.350.000 llantas, y como lo muestra la figura 9, de ellas sólo el 29% fueron recicladas, dejando que un total de 958.500 terminaran en los basureros y calles de los diferentes municipios colombianos, por lo que la tasa de reciclaje es baja, y mucho más su aprovechamiento en la industria de la construcción.

Figura 9.

Porcentaje de aprovechamiento de las llantas importadas en Colombia en el 2020



Nota. Tomado de Revista Semana.

Son varios los usos que en las obras civiles en Colombia se le da al caucho granulado, derivado del proceso llevado a cabo en las llantas usadas, siendo ellos:

6.3.1.1. Construcción de carreteras

La reducción del ruido, la mejora de la adherencia del vehículo, menos fricción, menor tiempo de frenado, aumento de la resistencia al agrietamiento, menor desgaste de las llantas y el bajo mantenimiento que supone, son algunas de las numerosas ventajas que presenta la utilización del polvo en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, debido a las propiedades elásticas del caucho que le permiten adaptarse más fácilmente a los cambios de temperatura, mejorando su vida útil en óptimas condiciones; el costo de mantenimiento de las carreteras ecológicas se estima en la tercera parte del costo que se debe invertir en una carretera convencional. Además de contribuir con el medio ambiente valorizando el neumático fuera de uso.

Existen dos métodos de incorporación del polvo de caucho en las mezclas asfálticas [28]:

- Vía seca: se incorpora el polvo de caucho mezclado con la grava o el árido a utilizar antes de mezclarlo con el betún, modificando las propiedades reológicas de la mezcla para la capa asfáltica.

- Vía húmeda: se utiliza con una mezcla de polvo de caucho, betún de penetración para obtener un compuesto mejorado con caucho. En este caso, existen varias alternativas que se pueden utilizar dependiendo de la cantidad de polvo de caucho que se quiera emplear.

El uso de caucho reciclado a partir de llantas ha sido estudiado para determinar el desempeño del mismo en la construcción de carreteras, según el 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research, elaborado por la Universidad Estatal de Kansas [29], el departamento de Ingeniería Civil y el Departamento de Transporte en 1995 se estudió y analizó el comportamiento del caucho en diferentes condiciones como parte del compuesto en la elaboración de carreteras, según variables, como el tamaño de los gránulos de caucho y las cantidades que se incorporan en la mezcla, en este estudio se analizó el desempeño del asfalto incluyendo cantidades de caucho en el orden del 2%, 4% y 6%, se determinó que a medida que incrementa la cantidad de caucho incorporado en la mezcla, disminuye la estabilidad del compuesto asfáltico si la temperatura ambiente es elevada, de acuerdo a este planteamiento sugieren que algunas de estas mezclas pueden ser adecuadas como capas intermedias o capas de drenaje en carreteras de bajo tráfico, de esta manera se plantea que si de cada llanta de automóvil se pueden sacar 9kg de caucho reciclado, para pavimentar 1km de vía con 7.3 mts de ancho y 100 mm de grosor se consumirían 3.350 llantas, lo cual resultaría altamente eficiente ya que es una cantidad importante de llantas que dejarían de ser un problema ambiental.

6.3.1.2. Materiales de construcción

De acuerdo a López y colaboradores [30], actualmente el caucho granulado que surge del proceso de reciclaje de las llantas es utilizado en la elaboración de materiales de construcción entre ellos están:

Tabla 4.

Usos del caucho reciclado de las llantas en materiales de construcción

Productos	Características	Usos y aplicaciones
Baldosas modulares	Resistencia (Máxima protección contra las caídas y lesiones), absorbe el impacto, antideslizante, duraderas, alta resistencia a las condiciones climáticas, fácil de instalar y de limpiar, bajo mantenimiento, absorbe ruidos y vibraciones.	Se usan en andenes y senderos peatonales, parques infantiles, gimnasios, pisos y paredes en establos y caballerizas, techos ecológicos y terrazas, zonas de recreación y deporte, zonas agropecuarias, seguridad industrial.

Vaciado en sitio (piso continuo)	Resistente, absorbe el impacto, antideslizante, permeable, duradero, alta resistencia a las condiciones climáticas permite diseños orgánicos, bajo mantenimiento, amigable con el medio ambiente, absorbe ruidos y vibraciones.	Parques infantiles, parques biosaludables, circuitos de trote, pistas atléticas, áreas de deporte, andenes y senderos peatonales, centros de educación escolar, zonas húmedas y terrazas.
Panel aislante para suelos flotantes	Impermeable a todo tipo de fluidos. Resistente a los agentes atmosféricos. Alta durabilidad. Reciclado. Fácil colocación. Sorprendente reducción a ruido de impacto y vibraciones.	Sustentaciones elásticas antivibratorias en general. Suelos flotantes. Bases de inercia.

Nota. Tomado de López y colaboradores [30].

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El estudio comenzó por identificar las principales características y los componentes de las llantas recicladas, encontrando que estas se caracterizan por contar con diferentes partes, como banda de rodamiento, paredes, hombro, talones, telas de cuerpo, telas estabilizadoras y relleno de talón, no obstante, compuesta por más de la mitad de caucho, el resto es metal que le da estabilidad, siendo el carbono y el hidrógeno los principales minerales que posee; es por ello que se convierte en un elemento de reciclaje del cual se puede aprovechar la mayoría de sus componentes.

De otro lado, al investigar las tecnologías existentes para el proceso de reciclaje de llantas en Colombia se pudo identificar que existen varios procedimientos para el aprovechamiento de las llantas usadas, aunque los más utilizados en este país son la trituración y el pirólisis, en el primero se obtiene GCR y en el segundo se especialmente utilizado para extraer gas, aceite y ceniza. El proceso de trituración implica el uso de varias máquinas, empezando por la destalonadora, además se utiliza cortadora, trituradora, granulador, separadora de acero, existiendo variedad de tamaños en estas máquinas, lo cual hace variar la capacidad de procesamiento de las llantas. A su vez el proceso de pirólisis utiliza un horno, el cual debe ser totalmente sellado, para evitar la producción de emisiones.

Por último, al determinar los diversos usos de las llantas recicladas en obras de Ingeniería Civil, hay que mencionar que los diferentes estudios permitieron identificar que existen diversos usos de las llantas recicladas en obras de ingeniería civil, siendo el GCR especialmente utilizado en la construcción de carreteras, a través de la inclusión en la mezcla asfáltica, bien sea por vía seca o húmeda, esto gracias a que la normatividad colombiana, a través de Instituto Nacional de Vías, permite y motiva el uso de materiales reciclados en la fabricación de pavimentos. También en Colombia existen empresas que utilizan este material para elaborar diferentes tipos de pisos (cerámicos, vaciado, panel aislante), aunque hay que señalar que pese al abundante material científico para el aprovechamiento del material reciclado de las llantas usadas, la mayoría de usos se quedan en la propuesta realizada en investigación, y son pocos los que actualmente se materializan, a ello hay que sumarle que es bajo el nivel de reciclaje de llantas en Colombia, lo que no permite contar con buena disponibilidad de GCR para el su aplicación en obras de ingeniería civil.

Es de anotar que existe una buena cantidad de investigación empírica para el posible uso de las llantas recicladas como materia prima para el desarrollo de materiales constructivos, no obstante, la mayoría de estos estudios se queda en la fase propositiva, por lo que su materialización real en las obras civiles es muy baja.

Por todo lo anterior, el analizar el aprovechamiento de las llantas recicladas en obras de ingeniería civil en Colombia permite concluir que, pese a los avances tecnológicos, existe poca normatividad que impulsa las acciones para que el reciclaje y aprovechamiento de un alto porcentaje de llantas usadas sea un hecho, y por lo tanto pueda existir un alto volumen de aplicación del GCR y otros componentes en el sector colombiano de la construcción.

7.2. Recomendaciones

Pese a que se ha escrito en varias publicaciones académicas y científicas sobre la problemática ambiental derivada de la disposición final de las llantas usadas, así como las alternativas reciclaje y uso del material resultante, es necesario que las administraciones municipales, especialmente en las ciudades capitales colombianas impulsen la creación de plantas recicladoras de estos elementos.

Existen varias investigaciones empíricas que dan cuenta del posible uso de las llantas recicladas en obras civiles, no obstante, su real aplicación es baja, por lo cual se recomienda a los emprendedores hacer lo posible por hacer uso de los hallazgos de los estudios, con el fin de además de ofertar productos constructivos más sostenibles, aumentar la demanda de materia prima proveniente de llantas usadas, así habrá un mercado más competitivo y los capitalistas privados se verán más tentados a invertir en plantas recicladoras.

A los ingenieros civiles que incrementen el uso de materiales constructivos que contengan GCR u otro componente derivado del proceso de reciclaje de llantas, con ello se aumentaría la demanda y así se impulsaría el desarrollo de un mayor número de plantas recicladoras de ruedas de vehículos, contribuyendo con ello a la mitigación del impacto ambiental.

REFERENCIAS

- [1] G. A. Martín, Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica Curso 2014-15, 2015.
- [2] J. Valencia, P. A. Benavidez y D. Ortiz, «Análisis del Tratamiento y Aprovechamiento de llantas usadas. Revisión bibliográfica,» *Universidad Santo Tomas*, pp. 1-17, 2019.
- [3] G. J. Peláez, S. M. Velásquez y D. H. Giraldo, «Aplicaciones del caucho reciclado: Una revisión de literatura,» *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, vol. 27, nº 2, pp. 2750, 2017.
- [4] D. Olivares y D. O. Carmona, lanta de reciclaje de neumáticos de caucho. Comercialización de miga de caucho, Lima: Facultad de Economía y Negocios, Plan de Ne, 2016.
- [5] A. Lopez, Diseño de un proceso de produccion basado en la trituracion mecanica para el aprovechamiento de las llantas fuera de uso en Santiago de Cali, Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2017.
- [6] Cámara de Comercio de Bogotá, «Guía para el manejo de llantas usadas,» Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá, 2006.
- [7] V. M. Rodriguez, C. A. Ramírez, J. S. Villarraga y L. Ovalle, «Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de trituración de llantas usadas en la localidad de Fontibón de la ciudad de Bogotá “Ecotire”.,» Universidad Católica de Colombia, Bogota, 2019.
- [8] L. Cardona y L. M. Sánchez, Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos, Medellín: Universidad de Medellín, 2011.
- [9] E. Abraham, B. Cherian, P. Elbi, L. Po-then y S. Thomas, «Recent Advances in the Recycling of Rubber Waste,» de *Recent Deve-lopments in Polymer Recycling*, Kerala, Transworld Research Network, 2011, pp. 47-100.
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Resolución 1326 de 2017,» Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, 2017.
- [11] L. V. Patiño y M. A. Rodríguez, «Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples ecoaplicaciones,» *ONTARE*, nº 5, pp. 73-114, 2017.
- [12] D. Flores, Diseño, fabricación, caracterización y aplicaciones constructivas de hormigones de consistencia seca con adición de materiales de procedencia orgánica e inorgánica de neumáticos fuera de uso (NFUs), Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [13] L. F. Garther y M. Y, «Evaluación preliminar del comportamiento de láminas de caucho reciclado como elemento de apoyo en modelos de vigas simplemente apoyadas sometidas a vibraciones horizontales,» Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2019.
- [14] P. J. Hernández, Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, ligantes hidráulicos y emulsiones asfálticas, Bogotá:

Universidad Nacional, 2014.

- [15] L. Reyes, J. Sierra y J. Becerra, «Aplicación de caucho reciclado para uso en pavimento rígido: Revisión, análisis y perspectivas de investigación.,» Universidad Santo Tomás, Tunja, 2020.
- [16] Organización Panamericana de la Salud, «Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas,» Organización Panamericana de la Salud, Lima, 2002.
- [17] J. Ramos, N. Saenz y J. L. Umbarila, Guía de buenas prácticas ambientales y económicas para el manejo adecuado de llantas usadas en la terminal de transporte terrestre de la ciudad de Bogotá D.C., Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2017.
- [18] M. V. Dueñas, Iniciativas nacionales para el reciclaje de llantas usadas en Colombia, Bogotá: Fundación Universitaria de América, 2020.
- [19] C. Díaz y L. Castro, «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, Bogotá, 2017.
- [20] J. Villegas y M. Wilches, «Utilización de mezcla asfáltica natural (MAN), procedente de la mina San Pedro, ubicada en el municipio de Armero Guayabal, departamento del Tolima, Colombia, con adición de gránulo de caucho reciclado (GCR), para reparcho localizado. Reparcho ecológico,» Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2019.
- [21] W. Pérez y W. Malagón, Plan de negocio para la creación de una empresa de reciclaje de llantas en Bogotá para producción de materia prima para asfalto y baldosas de caucho, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2017.
- [22] S. Vélez, Propuesta de negocio para la implementación de una empresa recolectora de llantas usadas para transformarlas en tejas de cauchos (Tejauchos) en la ciudad de Villavicencio, Villavicencio: Universidad Santo Tomás, 2019.
- [23] G. Castro, Materiales y compuestos para la industria del neumático, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2008.
- [24] A. Zarin, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso, Buenos Aires: Instituto tecnológico de Buenos Aires, 2011.
- [25] F. García, «¿Cuáles son los diferentes tipos de llantas para auto?,» Doctor auto, 2017. [En línea]. Available: <http://www.doctorauto.com.mx/2017/04/13/cuales-losdiferentes-tipos-llantas-auto/>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [26] J. A. Mejía, Caracterización y análisis de posibles tecnologías para la apropiación del caucho reciclado a partir de llantas usadas en el desarrollo de nuevos productos, Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2016.
- [27] C. Zárate, Valoración de 3 métodos de reciclaje de llantas para implementar en el municipio de Villavicencio, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2015.
- [28] D. A. Velandia, Análisis de un proceso de reciclaje que permita utilizar llantas desechadas como materia prima, Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2011.

- [29] Kansas State University, «A study of chunk rubber from recycled tires as a road construction material,» de *10th Annual Conference on Hazardous Waste Research*, Kansas, 1995.
- [30] A. M. López, Y. D. Rojas, J. G. Salazar y G. Cardóna, Diseño de un proceso productivo a partir del grano de caucho reciclado producto de la trituración mecánica de llantas usadas, Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2017.

ANEXOS