

# RECICLAJE DE LLANTAS: ALTERNATIVA DE MATERIA PRIMA PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DE PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR - CESAR

Maira Alejandra Castro-Cardona <sup>1</sup>, Natalia Andrea Jiménez-Ferreira <sup>2</sup>, Angélica Patricia Vanegas-Padilla <sup>3</sup>, Eberto Rafael Ortega-Sinning<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Ingeniera Ambiental y sanitaria. Valledupar, Colombia. Contacto: [mairaalejandracaastro@unicesar.edu.co](mailto:mairaalejandracaastro@unicesar.edu.co) <https://orcid.org/0009-0004-7658-6930>

<sup>2</sup>Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Valledupar, Colombia. Contacto: [nataliaajimenez@unicesar.edu.co](mailto:nataliaajimenez@unicesar.edu.co) <https://orcid.org/0009-0002-7238-1458>

<sup>3</sup>Msc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: [angelicavanegasp@unicesar.edu.co](mailto:angelicavanegasp@unicesar.edu.co) <https://orcid.org/0000-0001-5087-6172>

<sup>4</sup>Msc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: [ebertoortega@unicesar.edu.co](mailto:ebertoortega@unicesar.edu.co) <https://orcid.org/0009-0006-0443-1440>

## RESUMEN

La investigación surgió a partir de la necesidad de reducir el impacto ambiental y sanitario que ocasiona la inadecuada disposición de llantas y hules cuando llegan al final de su periodo de vida útil. Inicialmente, se llevó a cabo el acopio y reciclado de llantas y hules, que al pasar por un proceso de trituración se redujeron a partículas más pequeñas, las cuales sirvieron también como arena plástica como garantía para el pavimento sostenible. La investigación estuvo comprendida mediante los resultados de la investigación físico, químicos y mecánicos de los distintos ensayos cuyo agregado fino se reemplazó por gránulos de caucho reciclado en diferentes porcentajes. Se evaluó cada dosificación realizando pruebas de masa unitaria, humedad, absorción, gravedad específica y resistencia a la compresión, las anteriores pruebas permitieron determinar la viabilidad del uso de GCR como alternativa de materia prima en obras civiles para la construcción de pavimentos.

**Palabras claves:** Agregados, reciclaje, trituración, granulo de caucho, sustitución, pavimento.

Recibido: 15 de marzo de 2023. Aceptado: 29 de octubre de 2023  
*Received: March 15, 2023. Accepted: October 29, 2023*

## RECYCLING OF TIRES: ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR THE SUSTAINABLE CONSTRUCTION OF PAVEMENTS IN THE CITY OF VALLEDUPAR - CESAR.

### ABSTRACT

The research arose from the need to reduce the environmental and sanitary impact caused by the inadequate disposal of tires and rubber when they reach the end of their useful life. Initially, the collection and recycling of tires and rubber was carried out, which after going through a shredding process were reduced to smaller particles, which also served as plastic sand as a guarantee for sustainable pavement. Each dosage was evaluated by performing unit mass, moisture, absorption, specific gravity and compressive strength tests. These tests allowed determining the feasibility of using GCR as an alternative raw material in civil works, thus offering a different option for the substitution of fine aggregate in the production of pavement.

**Keywords:** Aggregates, recycling, crushing, rubber granule, substitution, pavement.

Cómo citar este artículo: M. Castro, N. Jiménez, A. Vanegas, E. Ortega. "Reciclaje de llantas: alternativa de materia prima para la construcción sostenible de pavimentos en la ciudad de Valledupar - Cesar", *Revista Politécnica*, vol.20, no.39 pp.09-17, 2024. DOI: 10.33571/rpolitec.v20n39a1

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia se generan cada año más de 5 millones de llantas usadas, el equivalente a 100.000 toneladas de residuos de este tipo [1]. Las llantas usadas representan un componente de contaminación ambiental a gran escala, debido al crecimiento actual de su uso por parte de la industria automotriz y de transporte y, finalmente del consumidor local, (es decir de cada persona, familia o empresa que emplea vehículos automotores); lo que ocasiona un alto volumen de generación de este residuo.

Las llantas generan gran impacto ambiental debido a su corta vida útil (aproximadamente 18 meses) y a los inadecuados procesos de disposición final que se aplican, entre estos están: el abandono, almacenamiento en basureros, acumulación o quema a cielo abierto de manera incontrolada; originando problemas de contaminación de las aguas, suelos, espacios públicos (lagos, ríos, calles y parques) con graves consecuencias en términos ambientales, económicos y sanitarios [2].

Con la investigación desarrollada se llevó a cabo el acopio y reciclado de llantas y hules, que al pasar por un proceso de trituración se reducen a partículas más pequeñas [4], dispuestas para la fabricación de arena plástica como alternativa para la producción de pavimento.

Este escenario representó dos grandes oportunidades de mercado, la primera permitió el desarrollo de un gestor u operador de sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, el cual abarcó los procesos de recolección, tratamiento y disposición de llantas. La segunda permitió que los derivados directos (caucho, textiles y acero) [14] de este proceso de reciclaje pudieran ser utilizados en un proceso de valorización para la fabricación de productos como: caucho para mezclas asfálticas, caucho para mezclas industriales y como materia prima en la fabricación de canchas sintéticas [8].

Finalmente, este artículo de investigación revela la evaluación y demostración de las propiedades técnicas y mecánicas de la arena plástica a partir de llantas recicladas, asegurando su idoneidad como componente para el mejoramiento sostenible de los pavimentos, incluyendo resistencia al desgaste, capacidad de carga, durabilidad y adherencia al resto de los materiales utilizados para el mismo, adicional a la concientización y aceptación pública destacando sus beneficios ambientales y técnicos, y promoviendo su adopción por parte de los sectores de la construcción y las autoridades reguladoras.

## 2. METODOLOGIA

La investigación se basó en un método experimental debido a que fue necesario realizar las pruebas de resistencia de las mezclas a analizar variando la proporción de GCR que describieron el comportamiento del material para la confrontación de los resultados obtenidos con la normatividad vigente.

Dentro de los procesos utilizados durante la investigación se llevaron a cabo los siguientes pasos:

### **Etapas 1: Identificación del material objeto de estudio (materia prima)**

- Acopio del material (llantas y hules usados).
- Clasificación
- Limpieza
- Trituración

### **Etapas 2: Producción del concreto para pavimento**

- Muestreo y caracterización de los agregados.
- Diseño de mezcla.
- Elaboración del concreto.

---

### **Etapa 3: Pruebas y análisis de los cilindros de concreto**

- Ensayos físico-mecánicos
- Formulación del diseño factorial de los ensayos realizados.
- Análisis de los resultados obtenidos con base a las normativas colombianas vigentes.

### **Etapa 4: Estudio de viabilidad del uso de gránulo de caucho para la construcción de pavimento.**

- Análisis del costo del pavimento
- Comparación del concreto diseñado con concretos para pavimento convencionales.

Se realizaron ocho (8) ensayos producidos de cada mezcla de arena plástica según su proporción, para un total de 32 cilindros formados. Con este porcentaje se calculó cuánta arena se invirtió en este proceso para lograr un producto óptimo conformada por los ensayos de concreto que se diseñaron de forma cilíndrica, con unas dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura a los cuales se les determinaron las proporciones de cemento y agua definidas y proporciones de agregados, (proporciones o relaciones que se conocerán a través del diseño de mezcla). Se realizaron 8 cilindros por cada mezcla de agregados.

Pasadas 24 horas desde el moldeado de los cilindros, se procedió a desmoldarlos con aire comprimido. Una vez desmoldados, se almacenaron cuidadosamente en un tanque de curado con agua libre en donde reposaron hasta el momento de probar su resistencia a la compresión.

Se realizaron los siguientes ensayos: 1. Ensayo a la compresión (se midió tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, mientras que la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en kg/cm<sup>2</sup>, asimismo se evaluó la densidad y eficiencia de la resistencia a la compresión) [16].

El diseño experimental implementado fue factorial simple. Se realizó con el fin de identificar cuál de las proporciones utilizada fue la más significativa logrando así mismo concluir la dosificación de la mezcla ideal para elaborar el pavimento. Se hicieron las debidas comparaciones de las características del pavimento diseñado con los pavimentos convencionales para determinar cuál de los dos es de mejor utilidad, teniendo en cuenta la economía y calidad del producto.

## **3. RESULTADOS**

Se realizó un recorrido en Valledupar, Cesar, Colombia, por varios centros automotrices, talleres de vehículos y llanterías, logrando obtener una gran cantidad de material en diferentes condiciones el cual fue transportado a la empresa CAUCHOGRAMA ubicada en el corregimiento de La Loma, Cesar; para su almacenamiento y posterior tratamiento, se tomaron los que tenían mayor cantidad de caucho en relación con otros contenidos y asimismo por orientación del operario de la empresa se descartaron las que presentaron mayor desgaste con el objeto de lograr mayor adhesión y disminución de los factores de posibles errores; posterior a la clasificación, se realizó un lavado y secado de la materia prima, la cual se procedió con la transformación a GCR a través de la planta de trituración mecánica obteniendo GCR fino y GCR grueso [15].

De los GCR se tomaron muestras para ensayarlas y conocer sus características granulométricas, prueba que permitió establecer los módulos de finura para los dos tipos de granos: para GCR fino MF= 2,77 y para GCR grueso MF= 4,10. (Ver tablas N°1 y N°2); allí se observa claramente el comportamiento de las cantidades producidas por la planta en cuanto a la variación en tamaño y cantidad por lo que se optó por combinar los gránulos para obtener una cantidad adecuada para llevar a cabo los diseños de mezcla, dando como resultado un material con las características granulométricas que se muestran a continuación:

**Tabla N°1 - Granulometría GCR fino.**

TAMAÑO DE MUESTRA		853			
CARACTERIZACION AGREGADO CAUCHO FINO					
TAMIZ	PASA (gr)	RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	%PASA FINO
4	853	0	0,00	0,00	100,00
8	851	2	0,23	0,23	99,77
16	846	5	0,59	0,82	99,18
30	447	399	46,78	47,60	52,40
50	155	292	34,23	81,83	18,17
100	33	122	14,30	96,13	3,87
<b>FONDO</b>	2	31	3,63	99,76	0,24
<b>TOTAL</b>		851	99,76		
<b>MF</b>	2,27				

Fuente: Autores, 2023.

**Tabla N°2 - Granulometría GCR grueso.**

TAMAÑO DE MUESTRA		1274			
CARACTERIZACION AGREGADO CAUCHO GRUESO					
TAMIZ	PASA (gr)	RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	%PASA FINO
4	1274	0	0,00	0,00	100,00
8	721	553	43,41	43,41	56,59
16	304	417	32,73	76,14	23,86
30	93	211	16,56	92,70	7,30
50	22	71	5,57	98,27	1,73
100	5	17	1,33	99,60	0,40
<b>FONDO</b>	1	4	0,31	99,91	0,09
<b>TOTAL</b>		1273	99,91		
<b>MF</b>	4,10				

Fuente: Autores, 2023.

Las cantidades producidas por la planta variaron en tamaño y cantidad, debido a esto, se optó por combinar los gránulos para obtener una cantidad adecuada para llevar a cabo los diseños de mezcla, dando como resultado un material con las características granulométricas que se muestran a continuación en la tabla N°3, donde se observó que el concreto final ha tendido a ser más fuerte que el concreto normal, debido a que las partículas de caucho que tiene dentro le han permitido doblarse bajo la presión en vez de romperse.

**Tabla N°3 - Caracterización agregado de caucho.**

TAMAÑO DE MUESTRA		CARACTERIZACION AGREGADO CAUCHO			
TAMIZ	PASA (gr)	RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	%PASA FINO
4	2127	0	0,00	0,00	100,00
8	1572	555	26,09	26,09	73,91
16	1150	422	19,84	45,93	54,07
30	540	610	28,68	74,61	25,39
50	177	363	17,07	91,68	8,32
100	38	139	6,54	98,22	1,78
<b>FONDO</b>	3	35	1,65	99,87	0,13
<b>TOTAL</b>		2124	99,87		
<b>MF</b>	3,37				

**Fuente:** Autores, 2023.

Seguidamente, se dispusieron los agregados para cada una de las pruebas realizadas, reemplazando las proporciones de agregado fino correspondientes según el diseño propuesto por los autores. El diseño de mezcla con relación cemento, arena, grava correspondió a **1: 2,4: 2,24** respectivamente; preparando los agregados teniendo en cuenta cada relación proporcional arena-GCR se obtuvieron las siguientes cantidades para elaborar el concreto:

Dispuestos los agregados se inició el proceso de mezclado, el cual se realizó de forma mecánica usando un *trompo mezclador de concreto*, los agregados para cada ensayo se integraron, realizando cada mezcla en orden según la proporción de arena de la siguiente manera: 100%, 80%, 60% y 40% respectivamente.

Terminada la mezcla se realizó el ensayo de asentamiento o slump siguiendo el procedimiento establecido en la NTC 396 [13] para cada diseño de relación ARENA-GCR, el cual consistió en sostener y llenar el *cono de Abrams* apisonando a la altura de  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$  y  $\frac{3}{3}$  para luego retirarlo y voltear el cono a un lado de la mezcla, y midiendo el asentamiento que tuvo la mezcla, todo el procedimiento se realizó según la norma NTC 550 y para todos los cilindros realizados.

Con la mezcla de cada relación ARENA-GCR se diseñaron 8 cilindros, para un total de 32 cilindros de concreto incluyendo los que no contienen GCR, dispuestos para ser fallados en los días 1, 3, 7, 14 y 28, desde su fabricación.

Inmediatamente después del acabado, se tomaron precauciones para evitar la evaporación del agua de fraguado para lo cual se cubrieron los moldes con bolsas plásticas sujetas y permanecieron en un lugar a la sombra durante al menos 24 horas hasta el momento de desmoldarlos.

Se retiró el taponamiento de los agujeros de la base de los moldes y utilizando una máquina compresora de aire, se condujo aire a través de estos, ocasionando que los cilindros de concreto se deslizaran hacia fuera del molde por la presión y empuje del aire entrante como se muestra en las siguientes ilustraciones.

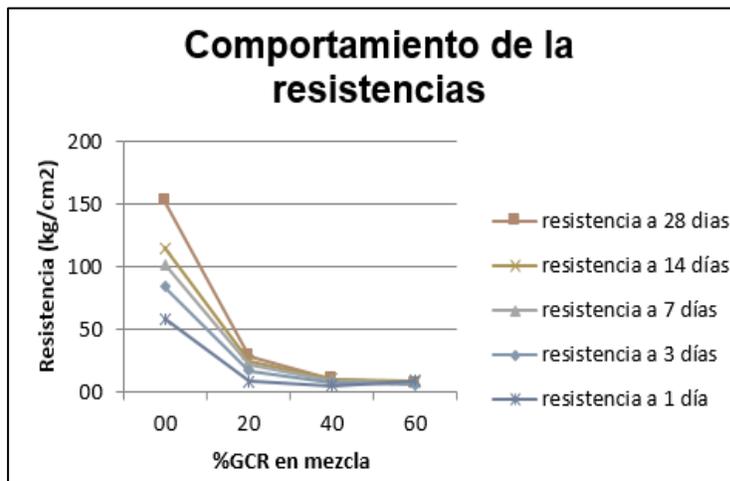
Los cilindros se marcaron según la proporción de arena que contenían y transcurridos 30 minutos del desmoldado de los cilindros fueron cuidadosamente depositados en un tanque de curado en donde reposaron completamente sumergidos en agua libre, hasta el día de la prueba de resistencia siguiendo las recomendaciones de la NTC 550.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cilindros según su edad de fallo, se sometieron al ensayo en la *máquina de resistencia a compresión* y se tomaron las lecturas de los resultados obtenidos.

Como se evidencia en la gráfica de líneas donde se relaciona la resistencia obtenida (eje y), con la variable de proporción de agregado de GCR en mezcla (eje X), se observó una declinación prominente en la resistencia, inversamente proporcional a la proporción de CGR contenido para los diferentes días ensayados. El comportamiento de la relación entre la resistencia y las diferentes mezclas para cada día se puede apreciar en la siguiente gráfica 1.

**Gráfica N°1** – Comportamiento de las resistencias a la compresión de los cilindros de concreto



Fuente: Autores, 2023.

De los resultados obtenidos en el proceso se pudo concluir que la implementación de GCR como agregado fino en un 20% de una mezcla de concreto tiene una viabilidad técnica para su uso en “solados” o “concretos pobres” ya que los valores de resistencia tienden a bajar considerablemente. De la revisión realizada al “Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto : para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito” del 2008 de INVÍAS [7] y el documento “Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito” del 2017 del DNP se concluyó que las mezclas de concreto con 20%, 40% y 60% no tienen aplicabilidad en pavimentos con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito ya que presentan una reducción de resistencia a la compresión de 82%, 93,3% y respectivamente [3] por lo tanto; las resistencias que se obtengan en la elaboración de una mezcla para pavimento de tránsito vehicular tenderían a estar por debajo de la requerida.

Colombia es un país con pocos resultados en reciclaje de llantas, es una actividad poco realizada, se considera con una gran posibilidad de desarrollo en la geografía nacional, esto se observa en la amplia información legal existente en la normatividad vigente [6].

Este contexto refleja múltiples oportunidades de oferta y demanda: 1. Inclusión de los operadores de sistemas de recolección y gestión ambiental de las llantas y la segunda para que los derivados directos, entre ellos, caucho, textil y acero, puedan ser utilizados en el proceso de valorización para la fabricación de productos como caucho para mezclas asfálticas, canchas sintéticas y como materia prima en la producción de materiales acústicos [12]. Si se considerara la producción de granulado de caucho como un proyecto de inversión, puede considerarse viable, al determinar que es sostenible y rentable, lo que la hace factible, o posible de realizarse y abrir oportunidades de explotación de negocios nuevos, que, con las tendencias de mercado a un cambio de mentalidad de apropiación hacia la naturaleza, estos proyectos hacen tangible tal oportunidad de negocio que se puede considerar con un alto porcentaje de realización tanto dentro como fuera del país. Lo anterior favorece al medio ambiente y genera empleo

---

para la gente vulnerable como en Bogotá, que son las personas que viven del reciclaje y dependen de estas labores [5].

A nivel de inversión, el reciclaje de llantas puede considerarse viable, al determinar que es sostenible y rentable, lo que la hace factible, o posible de realizarse y abrir oportunidades de explotación de negocios nuevos, que, con las tendencias de mercado a un cambio de mentalidad de apropiación hacia la naturaleza, estos proyectos hacen tangible tal oportunidad de negocio que se puede considerar con un alto porcentaje de realización tanto dentro como fuera del país. Lo anterior favorece al medio ambiente y genera empleo para la gente vulnerable como en Bogotá, que son las personas que viven del reciclaje y dependen de estas labores.

Teniendo en cuenta los valores actuales por kilogramo de agregado fino y de GCR se encontró que este tendrá una viabilidad económica si se genera una inversión inicial en la compra de maquinaria industrial de procesado de caucho y se compra el caucho clasificado para su procesamiento [11]. Comprar directamente el GCR es inviable económicamente ya que este maneja un precio minorista de \$850 COP por kilogramo y la arena maneja un precio de alrededor de \$30 COP por kilogramo, dejando fuera de competencia al caucho en escalas minoristas, ya que la arena es un recurso que cuenta con una mayor y más fácil disponibilidad local ante el caucho.

Al momento de realizar una comparación entre los pavimentos convencionales con el pavimento con GCR, destaca el hecho de que el pavimento con caucho tiene un impacto ambiental positivo ya que reduce la huella ecológica del caucho a través de su recirculación [9]. También, se puede percibir visualmente la característica del color oscuro en los pavimentos con GCR, teniendo una tendencia a oscurecer entre mayor sea la cantidad de GCR utilizado.

Otra observación de gran relevancia es que el uso de pavimento con GCR es limitado con respecto a los pavimentos convencionales debido a sus bajas resistencias a la compresión [10]. Por lo cual, se recomienda el uso de aditivos para aumentar su resistencia a la compresión [16].

El gránulo de caucho utilizado en la construcción de pavimentos presenta propiedades mecánicas y químicas específicas que son fundamentales para evaluar su viabilidad. Estas propiedades incluyen la resistencia al desgaste, la capacidad de absorción de impactos, la durabilidad, la capacidad de drenaje y la adherencia al asfalto. Estudios han demostrado que los pavimentos que incorporan gránulos de caucho pueden tener una vida útil más larga y una mayor resistencia al agrietamiento y la fatiga, lo que sugiere que el uso de gránulos de caucho puede mejorar el rendimiento del pavimento.

## 5. CONCLUSIONES

En el artículo de investigación se presenta el alcance y deducciones con un alto grado de interés e importancia desde el punto de vista ambiental, económico y social, enfatizando primeramente en un tema de gran impacto para la ciudad de Valledupar, Cesar y en general en la región caribe colombiana, tal como lo es la mala disposición de hules y residuos de llantas en el sector comercial.

Hay poca cultura en el manejo integral de este tipo de residuos, lo anterior dificulta los procesos de aprovechamientos de los mismos e incluso imposibilita su recirculación, que en casos como el de esta investigación retrasaron o dificultaron el desarrollo de los objetivos propuestos.

Por otro lado, se demostró que la resistencia del concreto con un contenido del 20% de GCR puede ser aplicable en el uso de concretos pobres o en solados, ya que alcanza las resistencias mínimas exigidas y necesarias para dicha aplicación, lo que sugiere un impacto ambiental positivo en potencia como alternativa para reducir la huella ecológica del caucho, al entrar en recirculación industrial.

Fue evidente que el aprovechamiento del grano de caucho reciclado para la fabricación de concreto, en porcentajes superiores al 20% de sustitución del agregado fino común, no es viable, ya que, tanto en criterio de resistencia como de economía, no es favorable su implementación.

Las resistencias bajan en porcentajes aproximados de hasta 80%, y la arena, que es el material a reemplazar en la mezcla de concreto, es 3,5 veces más barato que el grano de caucho de caucho reciclado en escalas minoristas.

## 6. RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de la investigación se evidenciaron varios aspectos que por factores como disponibilidad y economía no se pudieron llevar a cabo óptimamente, por lo que se recomienda a futuras investigaciones en el área tener en cuenta la resistencia a la flexión siempre y cuando tengan acceso o disponibilidad de equipos que realicen estas pruebas directamente.

También, debido a que los altos porcentajes utilizados de grano de caucho reciclado mostraron ser inviables por exigencias técnicas referentes a la resistencia de la mezcla de concreto, se recomienda en caso de replicación del proyecto, utilizar porcentajes de grano de caucho reciclado en la mezcla menores al 10% para buscar mantener la resistencia del concreto lo más alta posible. Sumado a esto, para mejorar la viabilidad económica para su aplicación in situ, resultaría más rentable la adquisición de máquinas de triturado de caucho, para lograr reducir los costos significativamente del grano de caucho reciclado.

Otro aspecto que se recomienda tener en cuenta es la forma del GCR, ya que se puede encontrar en otras presentaciones como escamas y granos de mayor tamaño, por lo que se podría evaluar la resistencia del concreto con la aplicación de estas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Aguirre, E. (2016). Aporte al análisis sobre el impacto ambiental y el impacto social que genera el reciclaje de tapas plásticas en la fundación sanar. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá D.C. Colombia.
- [2] Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI. (2016). Reporte del programa posconsumo. Bogotá. Reporte.
- [3] Londoño, C. & Álvarez, J. (2008). Manual De Diseño De Pavimentos De Concreto: Para Vías Con Bajos, Medios Y Altos Volúmenes De Tránsito. Medellín. Instituto Colombiano De Productores De Cemento.
- [4] Patiño, L. V. y Rodríguez Ramos, M. A.). Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples ecoaplicaciones. Revista Ontare. 5, páginas.
- [5] Rivera, G. (2013). Agregados para mortero o concreto. (pp. 41-76). Cauca. Gustavo Gili, s.a.
- [6] Rivera, G. (2013). Resistencia Del Concreto. Concreto simple. (pp. 121-154). Cauca. Gustavo Gili, s.a.
- [7] Jaimes, L. & Torres, K. (2019). Aprovechamiento Del GCR Para La Elaboración De Adoquines Ecológicos Como Alternativa A La Industria Constructiva, Revista Politécnica, Vol. 15, No.29 PP.33-44. doi: 10.33571/RPOLITEC.V15N29A3
- [8] Ortiz, A. & Tribilcock, P. (2014). Propuesta de un plan de empresa para el diseño y la fabricación de productos a partir del reciclaje de llantas, de acuerdo a las disposiciones normadas de los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas en Bogotá. Universidad Francisco José De Caldas. Bogotá, Colombia.
- [9] Saavedra, S. & Guillomo, J. (2017) Comparación del rendimiento energético entre la molienda mecánica y la molienda criogénica aplicada a los neumáticos fuera de uso (NFU)
- [10] Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. [Bhandar editores](#) Ltda.
- [11] G. J. Peláez Arroyave, S. M. Velásquez Restrepo y D. H. Giraldo Vásquez, “Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura,” Ciencia e ingeniería Neogranadina, vol. 27, no. 2, pp. 27-50. DOI: [http:// dx.doi.org/10.18359/rcin.2143](http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143)
- [12] Juárez Arcos, N. (2020). Propuesta de implementación para una planta de elaboración de gránulo de caucho reciclado. Universidad San Ignacio de Loyola
- [12] Garzón, J. E. (2022). *Utilización de granos de caucho reciclado en las mezclas asfálticas y sus beneficios*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/44674>.

---

[13] Rosas, A. M. & Quant, M. I. (2020). *Mobiliario urbano con la utilización del gránulo de caucho "Creati" - B*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/50274>. [

[14] Conpes. (2016). Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

[15] Escuelapedia. (s.f). Política 3Rs: reducir, reutilizar y reciclar. Disponible en: <https://www.escuelapedia.com/politica-3rs-reducir-reutilizar-y-reciclar/>

[16] Osorio, J. (2013). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. [blog]. Blog 360 en concreto. Bogotá. Disponible en: [https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n,por%20pulgada%20cuadrada%20\(psi\).](https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n,por%20pulgada%20cuadrada%20(psi).)

