



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

## **INCLUSIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS PARA MEJORAR PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN URBANIZACIONES: REVISIÓN SISTEMÁTICA 2011 – 2020.**

Trabajo de investigación para optar al de:

**Bachiller en Ingeniería Civil**

Autores:

Jerson Smith Fabian Ramos  
Luis Alberto Gonzales Paredes

Asesor:

Ing. Gonzalo Hugo Díaz García

Trujillo - Perú

2020



## **DEDICATORIA**

Este trabajo, está dedicado para mi madre como la mejor y más importante maestra de vida y para mi hija Emma Sophia Fabian Guerra.



## AGRADECIMIENTO

¿Cómo puede alguien decir “Gracias” cuando hay tantas personas a quien agradecer? Este trabajo es una forma de agradecer a mi madre María Ceferina y mi hermano mayor Freddy M., que me enseñaron del amor y la amabilidad. A mi esposa Flor Guerra, quien hace que mi vida sea completa. Flor, es mi socia en la relación, la aventura y la vida. A los padres de Flor: Donald y Hilda Medina, por criar una hija tan maravillosa. Agradezco a Carol y Larry Marquina por obsequiarme su amistad y aliento para con la carrera. A cada uno de mis docentes, en especial al Ing. Gonzalo Días, por haberme guiado en todo el proceso y educación continúa. Por ser grandes amigos y haber apoyado mis proyectos; Luis Gonzales, Adrian Guarnís, Rosmeri Segura, Maira Vázquez.

¡Agradecido con Dios en todo momento!

## Tabla de contenido

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>    | <b>2</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Resumen .....</b>        | <b>5</b>  |
| <b>Palabras clave .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>Abstract .....</b>       | <b>6</b>  |
| <b>Introducción.....</b>    | <b>7</b>  |
| <b>Metodología.....</b>     | <b>13</b> |
| <b>Resultados .....</b>     | <b>15</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>    | <b>23</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>     | <b>24</b> |

## Resumen

Actualmente el mundo moderno se encuentra frente a una producción masiva de neumáticas, la cual genera una fuerte preocupación por la dificultad que se tiene para desaparecerlos. Las ciudades modernas actualmente son tan dependientes de los automóviles y otros medios de transporte donde los neumáticos juegan un factor fundamental para su uso; sin darnos cuenta, nuestros índices de consumo a nivel mundial son muy elevados, a su vez las cantidades de neumáticos que dejamos de usar por diversas causas aumentan al transcurrir el tiempo; estas cantidades actualmente están siendo un problema medio ambiental difícil de mitigar.

Para la disminución de estas cantidades industriales y contrarrestar la contaminación ambiental se presume dar uso, en principio visualizándolo como una valiosa energía abordada en espacios abiertos sin control ni tratamiento; extrayendo de este producto, caucho granulado (CG) para su uso en pavimentos, haciendo posteriormente una inclusión de caucho granulado en la fabricación de mezclas asfálticas en valores que permitan contener los requisitos mínimos determinados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y en el manual de Diseño de Carreteras (DGC) obteniendo un asfalto modificado.

**Palabras clave:** caucho de neumáticos usados, asfalto modificado, granulado de caucho.



## **ABSTRACT**

Currently the modern world is facing a massive production of pneumatic tires, which generates a strong concern about the difficulty of disappearing them. Modern cities today are so dependent on cars and other means of transport where tires play a fundamental factor for their use; Without realizing it, our consumption rates worldwide are very high, in turn the amounts of tires that we stop using for various reasons increase over time; these amounts are currently being an environmental problem difficult to mitigate.

To reduce these industrial quantities and counteract environmental pollution, it is presumed to use it, initially visualizing it as a valuable energy addressed in open spaces without control or treatment; extracting from this product, granulated rubber (CG) for use in pavements, subsequently making an inclusion of granulated rubber in the manufacture of asphalt mixtures in values that allow to contain the minimum requirements determined by the Ministry of Transport and Communications (MTC) and in the Highway Design manual (DGC) obtaining a modified asphalt.

**Keywords:** used tire rubber, modified asphalt, rubber granulate.

## Introducción

Actualmente el mundo moderno se encuentra frente a una producción masiva de neumáticas, la cual genera una fuerte preocupación por la dificultad que se tiene para desaparecerlos. Las ciudades modernas actualmente son tan dependientes de los automóviles y otros medios de transporte donde los neumáticos juegan un factor fundamental para su uso; sin darnos cuenta, nuestros índices de consumo a nivel mundial son muy elevados, a su vez las cantidades de neumáticos que dejamos de usar por diversas causas aumentan al transcurrir el tiempo; estas cantidades actualmente están siendo un problema medio ambiental difícil de mitigar. Hoy en día los neumáticos fuera de uso (NFU) están siendo depositados en lugares clandestinos; países como el nuestro aun no encuentra una solución adecuada para tratarlos, siendo este causal de algunas enfermedades comunes, así como también la proliferación de roedores y en el peor de los casos destruidos por incineración generando CO<sub>2</sub>, ocasionando la posibilidad de incendios y la posible emanación de gases tóxicos. Se estima que hay alrededor de 250 millones de automóviles y camiones desechados cada año en lo unión europea, la que representa alrededor de 2.6 millones de toneladas de neumáticos. Cantidades similares son generadas en Europa del Este, América del Norte, Asia, El medio Oriente y América Latina. Por lo tanto, se calcula que en todo el mundo más de 1000 millones de neumáticos de desecho se generan anualmente (Meza I., De La Torre E., 2015). En América Latina actualmente existe una crecida abrumadora de vehículos; donde la producción y comercialización de neumáticos están muy de la mano con el crecimiento de economías emergentes. Siendo este el sistema en Latinoamérica se calcula que la proporción de vehículos en promedio es de 117 cada 1000 habitantes; siendo así, 201 en Argentina, Chile con 68, siendo los países que presenta la mayor cantidad de vehículos, en el caso de Perú no está muy

lejano de las estadísticas de los primeros lugares contando con 66 unidades (BBVA RESEARCH, 2012). En el 2019 Lima registro 3 936 vehículos, La Libertad 425, Arequipa 347 y Junín 296 siendo las ciudades con mayor población (Parque automotor, 2020). Hoy en día solo el departamento la libertad cuenta con:

Tabla N° 01  
*Estadísticas de llantas*

| <b>Año</b> | <b>Número de vehículos</b> |
|------------|----------------------------|
| 2010       | 158,000                    |
| 2015       | 190,000                    |
| 2020       | 200,000                    |

Tabla 01: Parqueo automotriz

En el 2025 con una proyección del 6% anual se calcula tener 272,000 vehículos aproximadamente, sabiendo que el tiempo de vida útil promedio de un neumático puede ser hasta 5 años, entonces tendríamos 803,790 neumáticos fuera de uso y para el 2025 aproximadamente 1, 033,600 donde solamente el 30% son reutilizados y rencauchados; quedando un 70% en algún lugar clandestino de la ciudad (botaderos, chatarreros, etc.).

Para la disminución de estas cantidades industriales y contrarrestar la contaminación ambiental se presume dar uso, en principio visualizándolo como una valiosa energía abordada en espacios abiertos sin control ni tratamiento; extrayendo de este producto, caucho granulado (CG) para su uso en pavimentos, haciendo posteriormente una inclusión de caucho granulado en la fabricación de mezclas asfálticas en valores que permitan contener los requisitos mínimos determinados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y en el manual de Diseño de Carreteras (DGC) obteniendo un asfalto modificado. Este proceso de inclusión de caucho procedente del triturado de neumáticos fuera de uso (NFU) en asfalto, se inició y se desarrolló en EEUU por los años 60 con una patente de Charles McDonald para su inclusión en tratamientos en

fallas a simple vista y bacheos. Por los años de 1985 comenzó a generalizarse llegando a extenderse en Arizona y California. Europa empezó con las pruebas de inclusión de caucho en asfaltos de alta viscosidad en mezclas drenantes por los años 70; Bélgica y Francia como anfitriones pero la falta de plantas de trituración y la crecida de los ligantes modificados con polímeros, disminuyeron su empleo. España uso su primer asfalto con inclusión de neumáticos fuera de uso (NFU) en una escala industrial en 1996, este asfalto de utilizo en tramos en Sevilla y Madrid. Por Latinoamérica tenemos a México que en 1970 hizo una inclusión de caucho para una calzada de la ciudad de Tlalpan, posteriormente CAPUFE (organismo público descentralizado del Gobierno Federal de México) lo aplico en autopistas de altas especificaciones: México – Puebla, México – Querétaro, México – Cuernavaca y Pátzcuaro – Uruapan. (Duarte, Amaya, & Anguas, 2013).

Actualmente En Brasil y Estados Unidos la inclusión de caucho de neumáticos usados al asfalto ha sido reglamentado por la norma ASTM (American Soviet For Testing and Materials) aprobando como un modificado de asfalto. Dando que los resultados son favorables en el desarrollo nacional y su aporte es materia ecológica. Otros países como: Venezuela y Colombia empezaron a poner en práctica la inclusión de caucho en mezclas asfálticas, siendo España la más resaltante en los últimos años ya que viene trabajando con ello en continuidad desde los años 1989. Siempre mencionando que existen dos modalidades de aplicación: por método seco y por método húmedo. Dependiendo del método, sus características; en su mayoría se obtienen mayor resistencia mecánica, reducción de niveles de ruido, menor desgaste de neumáticos, mejores propiedades antideslizantes entre otras.

Básicamente la inclusión de caucho granulado en mezclas asfálticas va ser visto positivamente siempre y cuando el porcentaje de inclusión sea añadida a la combinación de materia prima que lo conforman más no en remplazar alguna de estas. Dando como mejores propiedades

físicas el proceso por método seco en pistas de dos carriles, donde se puede aplicar entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro. Por método húmedo: como ligante; dando como mejores resultados ligas viscosas a temperaturas elevadas, reduciendo deformaciones permanentes como el ahuellamiento en las capas de rodadura. Por ende, al lograr más rigidez se logra disminuir el fisura-miento por defecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga; la cual mejora notablemente su elasticidad. Si el caucho granulado recibe un tratamiento adecuado y especial estará listo para formar parte de un asfalto modificado con caucho (Danilo S. Vega Zurita, 2016).

Al lograr un correcto reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) y un correcto proceso para la obtención de caucho granular (CG) se podrá obtener mayores resultados en diferentes campos de tanto en propiedades físicas, mecánicas y económicas entre ellas las más significativas son: resistencia mecánica, reducción de niveles de ruidos, menor desgaste de neumáticos, mejores propiedades antideslizantes, mayor elasticidad, menor índice de agrietamientos y un reducción de costos para su fabricación y mantenimiento periódico. Contribuyendo paralelamente con las políticas ambientales de las municipalidades y entorno peruano.

¿Con la inclusión de caucho granulado de neumáticos reciclados; se podrá, mejorar las propiedades mecánicas del pavimento flexible en las urbanizaciones?

Sabiendo que el destino de neumáticos de la ciudad viene a ser en su mayoría el mar y otra gran parte a los botaderos de basura, lugar donde no existe ningún tratamiento sobre ellos, lugar donde su descomposición es lenta (años) cuyos residuos está constantemente generando contaminación ambiental y proliferación de plagas.

El presente trabajo tiene como objetivo describir los diferentes enfoques positivos que tiene incluir el caucho granulado (CG) de neumáticos reciclados (NFU); para, mejorar las propiedades mecánicas del pavimento flexible en las urbanizaciones de la ciudad de Trujillo. Asimismo,

potencializar los conocimientos de la ciudadanía, dar a conocer las posibilidades de que si se puede reusar neumáticos fuera de uso (NFU) pasa su posterior aplicación en construcciones ecológicas como los pavimentos y conocer las propiedades mecánicas que sirven para mejorar la vida útil de estos; como también, una mejora en el lado económico y costo por mantenimiento. A través de ensayos de laboratorio daremos afinidad a lo expuesto demostrando que estas nuevas tecnologías son la solución al problema de baja calidad (pavimentos convencionales) en las infraestructuras viales de la ciudad, paralelamente se estará siendo amigable con el medio ambiente.

Con la inclusión de caucho granulado, de neumáticos reciclados; se mejora, las propiedades mecánicas de los pavimentos flexibles en urbanizaciones.

Haciendo énfasis; en la actualidad, se conoce la crecida de la infraestructura vial en el Perú la cual comprende 26,976 kilómetros de Red Vial Nacional; de los cuales 20,368 kilómetros se encuentran asfaltados a finales del 2017; esperando sumar 1,124 kilómetros para fines del 2018, en la cual, se tiene como objetivo para el 2021 sobrepasar los 78% de red vial pavimentada al 91%. En Red Vial Sub-nacional tenemos 139,973 kilómetros, comprendidos entre Red Vial Departamental (RVD) 27,481 kilómetros y como Red Vial Vecinal (RVV) con 112,492 kilómetros. Donde se recalca que para RVD solamente se cuenta 3,714 kilómetros asfaltados y en RVV 1,884 kilómetros asfaltados; lo demás son vías no pavimentadas; viceministra de comunicaciones (Rosa Nakagawa, 2019).

Este proyecto de investigación se justifica:

- Teóricamente, porque el análisis de este trabajo demuestra que es factible aplicar nuevos métodos y procedimientos en la construcción de pavimentos. Hecho que no se encuentra realizando a nivel nacional, menos en la ciudad de Trujillo y al ser aplicado abríamos evolucionado en la industria de la construcción con más vías asfaltadas.

- Técnicamente: Se soporta en la norma<sup>1</sup> quien acepta modificaciones en el asfalto con inclusión de neumáticos reciclados (previo proceso).
- Económicamente; para qué, cuando se alcance una mayor vida útil en las construcciones viales, se reduce el costo de inversión necesaria para el mantenimiento rutinario y periódico. El cual viene a ser muy elevado en cada año por sus mismas condiciones y magnitud de kilómetros asfaltados.
- Relevancia ambiental, porque con la inclusión de CG en un nuevo asfalto, alargaremos la vida útil de este producto (NFU), menos materia prima para su fabricación, menos emanación de gases contaminantes en su fabricación. Así mismo, para que a futuro se logre disminuir los botaderos ilegales, y se mitigue la contaminación ambiental y la generación de focos infecciosos.
- Socialmente: Viviendo la realidad de la ciudad de Trujillo, donde sus pavimentos de primer orden y segundo orden totalmente dañados a poco tiempo de su construcción. Nos surge obligatoriamente a nosotros como futuros ingenieros buscar nuevas alternativas para mejorar procesos, garantizar más vida útil en las nuevas construcciones, optimizar costos por mantenimiento y operaciones más amigables y sostenibles con el medio ambiente. Al lograrlo podremos destinar dinero sobrante a otras infraestructuras necesarias para el desarrollo nacional.

---

<sup>1</sup> Modificación de asfalto AC-10 (ASTM d-3381) utilizando caucho de llanta molido, norma ASTM D-6114-

## Metodología

La metodología de estudio del presente trabajo de investigación da a conocer un tema del mundo actual, donde países vecinos ya vienen acogiendo nuevos productos para sus pavimentos, entre ellos países Europeos como: Portugal, Italia y España donde el último ha demostrado ser uno de los primeros países en poner en marcha dicho proceso; sus numerosos estudios están normando la inclusión de neumáticos fuera de uso (NFU) para generar diversas formas de poder reutilizar ecológicamente.

Esta revisión bibliográfica data limitadamente a los últimos 10 años, teniendo como evidencia varios estudios dados finalizando el siglo XX, pero es aquí en los últimos años donde se viene tomando más acogida y aceptación por los países de Latinoamérica, cabe resaltar que esta revisión fue tomada de varios artículos, tesis y estudios afines desarrollados en español; de confiabilidad e incluso acreditadas por SUNEDU como las de la base de datos: La biblioteca UPN, Google Académico, Scielo y ProQuest como principales fuentes, y entre ellos filtros extras como resultados obtenidos positivamente, metodologías demostrativas, parámetros de uso y medio de aplicación. Con la intención de poder intercambiar propuestas, contexto, métodos, y resultados que acrediten información certera y sume en la sociedad.

Dentro de las palabras claves con mayor énfasis en la muestra de resultados para la inclusión de neumáticos usados para mejorar sus propiedades físicas de los pavimentos flexibles fueron: caucho granulado, caucho de neumáticos usados, pavimentos flexibles, caucho granulado en el asfalto, pavimentos con caucho y asfalto modificado con caucho.

Teniendo las palabras claves se hizo una recolección de información minuciosamente analizada, coherente al tema de investigación, colocándolo en una matriz de datos (Excel) con ciertas características como: universidad, nombre del trabajo, autores, año de publicación,

investigación, metodología, conclusiones, tipo de archivo, entre otros. Una vez registrados y estudiado cada dato guardado en la matriz de datos se empezó a seleccionar las ideas principales y de importancia de cada uno de los documentos guardados, para luego hacer una extracción de ideas y conjugarlas con lo deseado. Se registró cada idea principal en un borrador en principio, para luego generar nuevas ideas (parafraseo) con sustento teórico en lo revisado.

Entre la base de datos preliminares a estudiar y revisar, un promedio del cuarenta por ciento (40%) fueron descartadas debido a que su estudio de aplicación fue dado en campos diferentes al de interés, falta de precisión y calidad, falta de instrumento de medición; como también por la falta de datos que solicitaba como mínimo la matriz base para la elaboración de este trabajo de investigación. En todo momento se mantuvo estos filtros para la elección de cada archivo con los cuales se iba a trabajar posteriormente, dado que su importancia está en el tiempo que nos va acompañar la matriz de base de datos (inicio-fin) del trabajo de investigación.

Terminando se indica que los artículos, tesis y temas a fines seleccionados se determinaron primeramente por fuentes confiables como las antes mencionadas, delimitándolas como en año de publicación e idioma en segundo filtro. Posteriormente analizando su estudio de precisión y objetividad se daba una calificación según la calidad de contenido, afinidad con el tema de investigación propuesto, con la intención siempre de alcanzar información fidedigna que contribuya eficazmente al desarrollo de este proyecto.

## Resultados

La inclusión de neumáticos fuera de uso, para la incorporación adicional en las mezclas asfálticas, es tu tema muy relevante que viene siendo estudiado por diferentes autores en muchos otros países; todos, con la misma finalidad e intención. El sector de la construcción para pavimentos flexibles es uno de los rubros donde se nota su mayor inclusión, importancia e aplicación y no solamente por sus características de mejora sino también por el lado ambiental, debido a que el proceso ayuda a mitigar el impacto ambiental.

Al querer utilizar los neumáticos fuera uso primeramente debemos acceder a darle una transformación al producto lo cual vendría a ser la granulación de caucho; el cual viene a ser un procedimiento mecánico simple de realizar, a bajo costo y eco amigable. La operación de granulación vendría a ser parte del proceso; recalcando que nuestra finalidad como propuesta es la inclusión al asfalto por vía seca. Quien haría que nuestro proceso no sea complicado y solamente bastaría con homogenizar uniformemente los materiales para ayudar a mejorar las propiedades mecánicas, en todo momento considerando como parte de los materiales a usar. Siendo aportador de varias propiedades mecánicas como la elasticidad, quien cumple la función de ser más difícil de romper por el peso de los vehículos en tránsito; propiedades de fricción, gracias la inclusión de caucho granulado esta propiedad reduce el desgaste de los neumáticos de los vehículos que entrara en contacto con el pavimento flexible al momento de tránsito y frenado del mismo. Penetración, disminuirá a mayor cantidad de caucho granulado, pero con una cantidad de 25% será lineal (Jorge G. Durant Broden, 2017). El asfalto siempre va ser susceptible a temperaturas, dado que es un material considerado visco elástico, cual definición es presentar cambios continuos en sus características según grados de temperatura: es rígido cuando está expuesto a temperaturas bajas y todo lo contrario en temperaturas altas. En esta ocasión para mejor sus propiedades de

viscosidad tendremos que trabajar con un porcentaje de 18%, de esta forma la mezcla asfáltica tendrá una mejor manejabilidad, cumplirá las especificaciones de la norma ASTM D-6114-97 <sup>2</sup>y su compactación en campo se hará mucho más fácil. Si aplicamos un 20% de caucho granulado de neumáticos fuera de uso en una mezcla asfáltica en caliente para obtener un asfalto modificado con caucho estaríamos teniendo un ahorro económico del 24.62% por cada metro cubico producido (Fredy Goicochea Fernández, 2017).

### 3.1. Matriz de registro de artículos y tesis

Figura 1.

*Matriz de registro de artículos*

| Nº | BASE DE DATOS  | Autor/Autores   | Año  | Título de artículo de Investigación  |
|----|----------------|---|------|--|
| 1  | Biblioteca UPN | Br. Fredy Goicochea Fernández                                       | 2017 | Estudio de asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base   |
| 2  | Biblioteca UPN | Campaña O.; Gáelas; Guerrero V.                                     | 2015 | Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores                       |
| 3  | Biblioteca UPN | Meza I.; De la Torre E.   | 2015 | Modelo de deconvolucion para la cuantificación de los componentes del caucho vulcanizado presente en los neumáticos fuera de uso |
| 4  | Biblioteca UPN | María Eva Sosa/ Cecilia Soengas/ Gerardo Botasso                    | 2012 | Caracterización de una micro dispersión de caucho reciclado de neumáticos en asfalto   |
| 5  | Biblioteca UPN | Gerardo Botasso, Oscar Rebollo, Adrián Cuttrocchio, Cecilia Soengas | 2012 | Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructuras                                       |

<sup>2</sup> Modificación de asfalto AC-10 (ASTM d-3381) utilizando caucho de llanta molido, norma ASTM D-6114-97.

|    |                  |  |      |   |
|----|------------------|--|------|---|
| 6  | Biblioteca UPN   | Wilder Danny Cusquisiban Ocas  | 2014 | Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos.  |
| 7  | Biblioteca UPN   | Felipe Pizarro Valenzuela  | 2013 | Valorización de caucho proveniente de neumáticas fuera de uso   |
| 8  | Biblioteca UPN   | Cesar Augusto Cervera Borja  | 2016 | Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticas.  |
| 9  | Google académico | Danilo Sebastián Vega Zurita   | 2016 | Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico.  |
| 10 | Google académico | Pereda Rodríguez, Danfer Alonso<br>Cubas Parimango Nahum Octavio                     | 2015 | Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y comparación técnico - económico con los asfaltos convencionales.  |
| 11 | Google académico | Esthefani Concepcion Segovia Carhuas<br>Alexandra Paco Martinez                      | 2020 | Análisis del aprovechamiento de neumáticos reciclados usados como aditivo en el asfalto   |
| 12 | Google académico | Camilo Andres Correa Lemes   | 2018 | Implementación de mezcla asfáltica modificada con granulo de caucho en el barrio san Carlos de la localidad de Tunjuelito   |
| 13 | Google académico | Orlando Alberto Lubo Gomez Roiman Andres Martinez Giraldo                            | 2019 | Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en las ciudades santa marta, barranquilla y Bogotá como alternativa de mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles entre los años 2012 – 2019. |
| 14 | Google académico | Armando Ramirez Villamizar<br>Ingryd Lorena Ladino Rubio<br>Juan Pablo Rosas Ramirez | 2014 | Diseño de mezclas asfálticas con asfalto caucho tecnología gap graded para la ciudad de bogota  |
| 15 | Scielo           | P. Arroyo, R. Herrera, L. Salazar, Z. Gimenez, J. Martinez, M. Calahorra             | 2018 | A new approach for integrating environmental, social and economic factors to evaluate asphalt mixtures withand without waste tires.   |

|    |                   |   |      |   |
|----|-------------------|---|------|---|
| 16 | Scielo            | G. Martinez, B. Caicedo,<br>D. Gonzalez, L. Fuentes,<br>V. Torres   | 2018 | Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado en Bogotá: logrando sostenibilidad en pavimentos.  |
| 17 | Scielo            | Yee Wan Yung Vargas,<br>Jorge Eliecer Cordoba<br>Maquillon, Hugo<br>Alexander Rondon<br>Quintana                                    | 2016 | Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (gr)   |
| 18 | ProQuest          | Javier Eduardo Mantilla-<br>Forero, Eduardo Alberto<br>Castañeda-Pinzon   | 2019 | Assessment of simultaneous incorporation of crumb rubber and asphaltite in asphalt binders  |
| 19 | ProQuest          | Gabriel Jaime Pelaez<br>Arroyave, Sandra Milena<br>Velasquez Restrepo<br>Diego  | 2017 | Aplicación de caucho reciclado: una revisión de la literatura   |
| 20 | ProQuest          | Henry Yecid Bustos<br>Castañeda, Pedro<br>Alexander Sosa Martinez,<br>Nelson Rodriguez<br>Ramirez, Jeimy Natalia<br>Calderon Bustos | 2018 | Fundamentos micro y macroscópicos de la modificación del asfalto convencional con polímeros: una revisión   |
| 21 | ProQuest          | Juan Camilo Munera, E.<br>Alexandra Ossa  | 2014 | Estudio de mezclas binarias de asfalto- polímero.   |
| 22 | Biblioteca<br>UPN | Pablo Augusto Romero<br>Velarde   | 2018 | Proyecto de inversión: implementación y puesta en marcha de una planta recicladora y trituradora de llantas en desuso para elaboración y comercialización de caucho granulado en el diatrio de carabaylo - ciudad de lima 2018. |
| 23 | Biblioteca<br>UPN | Alejandro Pedraza Susa,<br>Diego Fernando<br>González Granada   | 2016 | Influencia de la temperatura de compactación en mezclas asfálticas densas en caliente (mdc) modificadas con grano de caucho reciclado (gr)  |
| 24 | Biblioteca<br>UPN | Hugo Alexander Rondon<br>Quintana, Maritza Liliana<br>Guzman Millan   | 2010 | Influencia de la granulometría sobre la resistencia mecánica de una mezcla asfáltica modificada con desecho de poli cloruro de vinilo (PVC).  |
| 25 | Biblioteca<br>UPN | Jorge Gabriel Durant<br>Brodén  | 2017 | Relleno elastométrico para pavimentos asfálticos en climas de altura mediante el reciclado de neumáticos  |

Figura 1: Relación de archivos estudiados para la elaboración de este trabajo; tesis, artículos y otro ordenado por origen de archivo

### 3.2. Tabla con características de los estudios

Tabla 02

*Características de los estudios*

| Tipo de Documento | F  |        | %    |   | Año de Publicación | F  |   | %   |  | Revista de Publicación del Artículo |
|-------------------|----|--------|------|---|--------------------|--|---|-----|--|-------------------------------------|
|                   | F  | %      | F    | % |                    | F  | % |     |  |                                     |
| TESIS             | 14 | 51.85% | 2010 | 1 | 3.7                | Asociación Mexicana de Asfalto<br>Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas<br>–<br>Universidad de Chile<br>Universidad Nacional de Cajamarca<br>Universidad Católica de Colombia<br>Universidad Católica de Colombia<br>Universidad Privada Antenor Orrego - Perú<br>Universidad Privada del Norte – Perú<br>Universidad Técnica de Ambato – Ecuador<br>Universidad de la Salle – Colombia<br>Universidad Nacional del Altiplano - Perú<br>Universidad Militar Nueva Granada Bogotá-Colombia<br>Universidad Privada del Norte – Perú | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 1 | 3.7                |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 3 | 11.11              |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 1 | 3.7                |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 3 | 11.11              |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 1 | 3.7                |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 3 | 11.11              |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 1 | 3.7                |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 1 | 3.7                |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 2 | 7.41               |  | 1 | 3.7 |  |                                     |
|                   |    |        |      | 1 | 3.7                |  | 1 | 3.7 |  |                                     |

|             |       |  |      |   |       |   |   |     |
|-------------|-------|--|------|---|-------|---|---|-----|
|             |       |  | 2019 | 1 | 3.7   | Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas   | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2020 | 1 | 3.7   | Universidad Católica San Pablo Centro de Investigaciones Viales. Universidad                              | 1 | 3.7 |
| ARTICULO 13 | 48.15 |  | 2007 | 1 | 3.7   | Tecnológica Nacional. Facultad Nacional la plata- ARGENTINA Centro de Investigaciones Viales. Universidad | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2008 | 1 | 3.7   | Tecnológica Nacional. Facultad Nacional la plata- ARGENTINA   | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2010 | 1 | 3.7   | Studiositas edicion de diciembre - Colombia   | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2014 | 1 | 3.7   | Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N. 70 pp. 18-33  | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2015 | 2 | 7.41  | Revista Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química Quito – Ecuador                              | 1 | 3.7 |
|             |       |  |      |   |       | Revista Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química Quito – Ecuador                              | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2016 | 1 | 3.7   | Universidad Distrital Francisco José de Caldas  | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2017 | 1 | 3.7   | Aplicaciones del caucho reciclado   | 1 | 3.7 |
|             |       |  | 2018 | 3 | 11.11 | Revista Ingeniería de Construcción  | 1 | 3.7 |
|             |       |  |      |   |       | Universidad del Norte Barranquilla Colombia   | 1 | 3.7 |

|      |   | Facultad de Ingeniería |   |
|------|---|------------------------|---|
| 2019 | 2 | 7.41                   | Civil Universidad Cooperativa de Colombia |
|      |   |                        | 1   |
|      |   |                        | 3.7                                       |
|      |   |                        | Universidad Nacional de Colombia          |
|      |   |                        | 1   |
|      |   |                        | 3.7                                       |

Tabla 02: características de archivos estudiados para la elaboración del presente trabajo.

### 3.3. Tabla con los tipos de documentos analizados

TABLA 3

*Tipos de documentos analizados*

| Tipo de documento | F         | %          |
|-------------------|-----------|------------|
| Tesis             | 14        | 51.9       |
| Artículo          | 13        | 48.1       |
| <b>TOTAL</b>      | <b>27</b> | <b>100</b> |

Tabla 03: tipos de documentos analizados y porcentaje de frecuencia.

### 3.4. Cuadro de cantidad de artículos por año

| 2011 - 2020 |             |
|-------------|-------------|
| Año         | N° Trabajos |
| 2011        | 2 (7.4%)    |
| 2012        | 0 (0.0%)    |
| 2013        | 1 (3.7%)    |
| 2014        | 4 (14.8%)   |
| 2015        | 3 (11.1%)   |
| 2016        | 4 (14.8%)   |
| 2017        | 4 (14.8%)   |
| 2018        | 5 (18.5%)   |
| 2019        | 3 (11.1%)   |
| 2020        | 1 (3.7%)    |

## Conclusiones

- Las revisiones sistemáticas son el mejor método para recopilar y sintetizar evidencia científica sobre temas determinados; donde su método nos asegura los sesgos y limitaciones sean los mínimos posibles.
- Queda demostrado que mediante los estudios de una revisión sistemática los trabajos dan una mejor recopilación de datos y una evidencia científica precisa sobre el tema estudiado para este caso la inclusión de caucho granulado, de neumáticos reciclados en la mezcla asfáltica para mejorar propiedades mecánicas de los pavimentos flexibles en urbanizaciones.
- Actualmente son más comunes las revisiones sistemáticas para proyectos de investigación.
- La revisión termina con la elaboración de conclusiones y para ello se toma en consideración la calidad y la cantidad de los trabajos extraídos de la literatura, la dirección y magnitud de los efectos o asociaciones encontradas, la homogeneidad de los trabajos y la posibilidad de generalizar los resultados.

## REFERENCIAS

Meza Trujillo, I., & De La Torre Chauvin, E. H. (2015). Modelo de Deconvolucion para la Cuantificación de los Componentes del Caucho Vulcanizado Presente en los Neumáticos fuera de uso. *Revista politécnica*; vol. 36, No 2; 73. Doi: [Revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/587](http://Revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/587)

BBVA, (2020, 20 de Junio). Situación automotriz latinoamericana [publicación de blog] obtenido de <https://www.bbvaresearch.com>

MTC - Parque automotor, (2020, 12 de Marzo). Estadística – Ministerios de Transportes y Comunicaciones, Parque Automotor [publicación de blog] obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344892-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-parque-automotor>

Duarte, M. J. M., Amaya, M. S., Márquez, M. E., & Anguas, G. Evaluación de mezclas asfálticas modificados con hule de neumático, mediante diseño volumétrico, TSR y deformación permanente. Recuperado de: [http://www.amaac.org.mx/archivos/eventos/8cma\\_2013/mezclas\\_asfalticas/mezclas07.pdf](http://www.amaac.org.mx/archivos/eventos/8cma_2013/mezclas_asfalticas/mezclas07.pdf).

Danilo S. Vega Zurita, (2016). Análisis Del Comportamiento A Compresión De Asfalto Conformado Por Caucho Reciclado De Llantas Como Material Constitutivo Del Pavimento Asfáltico”. Recuperado de:



[Repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25264/1/Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebasti%c3%a1n.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25264/1/Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebasti%c3%a1n.pdf)

Jorge G. Durant Broden, (2017). Relleno elastométrico para pavimentos asfálticos en climas de altura mediante el reciclado de neumáticos. Recuperado de:

[Repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9554](https://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9554).

Goicochea Fernández, F. (2019). Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumáticos reciclados como polímeros base. Recuperado de:

[Repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1627](https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1627)