



FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

**“Análisis del aprovechamiento de neumáticos
reciclados usados como aditivo en el asfalto”**

Presentado por:

Esthefani Concepcion Segovia Carhuas
Alexandra Paco Martinez

Para Optar por el Grado Académico de Bachiller en:
INGENIERIA INDUSTRIAL

ASESOR: Juan Carlos Valdez Loaiza

Arequipa, Enero de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico a Dios, por ofrecerme la voluntad y la suficiente fuerza para culminar con esta labor y con bastante amor dedico este gran esfuerzo a mis padres Marcelina y Antonio, quienes me dieron la vida y su apoyo infinito durante mi carrera universitaria e hicieron que mi sueño fuera parte de ellos.

Dedico a mis hermanos Cristhian, Elizabeth, Luis y Sheyla por el apoyo del día a día.
“ESTHEFANI.”

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres, Roberto y Armida por su constante apoyo durante esta labor, por el amor infinito que me brindaron, por la motivación del día a día durante esta etapa de mi formación. “ALEXANDRA”

AGRADECIMIENTO

Como investigadoras de este presente trabajo en primer lugar queremos agradecer a nuestra casa de estudios la Universidad Católica San Pablo por su acogida y por habernos brindado los conocimientos durante esta etapa.

Agradezco a mis padres Marcelina Y Antonio por su constante motivación y apoyo brindado y tener la idea de siempre salir adelante.

A mi hermana Elizabeth por su compañía durante esta etapa y por compartir sus conocimientos de esta misma línea de carrera.

Finalmente, este trabajo de investigación me la dedico a mí por el esfuerzo y dedicación puesto sobre él. “ESTHEFANI”.

Agradezco a mis padres, Roberto Paco y Armida Martínez por ser los pilares fundamentales de mi existencia, por haber inculcado en mí siempre valores y principios ejemplares y por su apoyo perpetuo e incondicional. A mi profesora de la primaria, Ruth Choquenaira, quien sembró en mí, el hambre de superación; sin más que agregar, solo me queda decir que con “determinación y perseverancia” todo se puede lograr. “ALEXANDRA”.

RESUMEN

La presente investigación promueve el uso de los materiales que son reciclados como parte de las soluciones, para ejecutarse como alternativa al actual problema ambiental, con la finalidad de poder enriquecer las propiedades de las mezclas asfálticas con adición de componentes (caucho) de esta forma sea perdurable y capaz de alarga la vida.

Para ello se realizó la caracterización de los neumáticos y de los pavimentos flexibles de la misma manera a través del tratamiento mecánico realizado a los neumáticos se obtiene gránulos de caucho entre 0.8 milímetros y 4 milímetros que adicionado a las mezclas asfálticas mejora el comportamiento de sus propiedades.

En la presente se podrá encontrar información acerca los problemas presentes en las pavimentaciones y ante ello las medidas que se tomaron, así como el porcentaje de adición de caucho de neumático reciclado en un rango promedio de 3% y 5% que se le adiciona a la mezcla asfáltica a través de los procesos por vía caliente y seca. Siendo el proceso de vía seco el más ventajoso para la aplicación en el sector y para un mejor comportamiento y además cumpliendo con las exigencias del manual de carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Finalmente se analiza las ventajas resultantes del tratamiento mecánico a través de la GRANULACION al adicionar el caucho en la mezcla asfáltica y entre más fino sea el grano de caucho, tendrá mejor acogida y además de ser un material reciclado el costo del producto será mucho menor y a la vez contribuir con la reducción de la contaminación ambiental.

PALABRAS CLAVES: Neumático, reciclado, asfalto.

ABSTRACT

This research promotes the use of materials that are recycled as part of the solutions, to be implemented as an alternative to the current environmental problem, in order to enrich the properties of physical mixtures with the addition of components in this way is durable and capable of lengthens life.

For this, the characterization of the tires and the flexible pavements was carried out in the same way through the mechanical treatment carried out on the tires, rubber granules between 4 millimeters and 0.8 millimeters are obtained, which, added to the asphalt mix, improves the behavior of their properties. .

In the present you can find information about the problems present in the paving and before that the measures that were taken as well as the percentage of addition of rubber mixture of recycled tire that are in a range between (3% and 5%) that It is added to the asphalt mixture by hot and cold processes. The hot track process is the most advantageous for a better behavior and also complying with the requirements of the road manual of the Ministry of transport and communications.

Finally the advantages resulting from the mechanical treatment through GRANULACION are analyzed by adding the rubber in the asphalt mixture and the finer the rubber grain, it will be better received and besides being a recycled material the cost of the product will be much better. At the same time contribute to the reduction of environmental pollution.

KEYWORDS: Tire, recycled, asphalt.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los problemas ambientales se han convertido en una preocupación global que ha venido tomando fuerza y relevancia; unos de los problemas es la mala gestión de residuos sólidos que contaminan los suelos, ríos, lagos, océanos, etc., perjudicando los ecosistemas que se encuentran alrededor de estos.

La generación de grandes cantidades de residuos sólidos a nivel mundial, nacional y local no es una novedad, tampoco que éstos residuos sólidos no tienen una gestión normada, controlada y ejecutada con efectividad en muchos países del mundo, lo cual viene generando impactos ambientales significativos a nivel mundial.

En este sentido, muchos profesionales y especialistas en la materia vienen desarrollando y buscando nuevas propuestas para inhibir el impacto ambiental significativo que genera la acumulación irresponsable y no controlada de residuos sólidos.

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Descripción del problema..... | 1 |
| 1.1 | Análisis de la situación problemática..... | 1 |
| 1.2 | Formulación del problema | 2 |
| 1.3 | Sistematización del problema | 2 |
| 2. | Objetivo general..... | 2 |
| 3. | Objetivos específicos..... | 2 |
| 4. | Justificación de la investigación..... | 3 |
| 4.1 | Conveniencia..... | 3 |
| 4.2 | Justificación teórico..... | 3 |
| 4.3 | Justificación metodológica | 3 |
| 4.4 | Justificación práctica | 5 |
| 5. | Delimitación de la investigación..... | 6 |
| 5.1 | Delimitación temporal:..... | 6 |
| 5.2 | Delimitación temática: | 6 |
| 6. | Marco teórico..... | 6 |
| 6.1 | Antecedentes | 6 |
| 6.2 | Conceptos generales | 10 |
| 6.2.1 | Neumático nuevo | 10 |
| 6.2.2 | Reciclaje..... | 12 |
| 6.2.3 | Asfalto | 13 |
| 6.3 | Valoración de los neumáticos..... | 13 |
| 6.3.1 | Valoración material o tratamiento mecánico de los neumáticos | 13 |
| 6.3.2 | Valoración energética o tratamiento químico de los neumáticos | 13 |
| 6.4 | Tratamiento de los neumáticos en el sector construcción | 14 |
| 6.5 | Tratamiento de Granulación..... | 15 |
| 6.6 | Mezcla asfáltica con adición de caucho de neumático | 18 |
| 6.6.1 | Proceso de Tratamiento del caucho | 18 |
| 6.7 | Ventajas de adicionar caucho en la mezcla asfáltica | 21 |
| 7. | Método de investigación..... | 22 |
| 7.1 | Descripción del objeto de estudio y unidad de análisis | 22 |
| 7.2 | Descripción del tipo de investigación | 22 |
| 7.3 | Instrumentos de investigación | 22 |
| 7.4 | Descripción del paso a paso de como la investigación fue realizada | 23 |
| 7.5 | Análisis de ventajas, desventajas y limitaciones de los métodos, así como superar estas limitaciones | 24 |

| | | |
|------|--------------------------------------|----|
| 8. | Análisis de resultados | 25 |
| 9. | Conclusiones y recomendaciones | 26 |
| 10. | Referencias bibliográficas..... | 28 |
| 11. | Anexos..... | 31 |
| 11.1 | ANEXO1..... | 31 |
| 11.2 | ANEXO 2 | 31 |
| 12. | Apéndices..... | 32 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Investigaciones realizadas sobre mezclas asfálticas con aditivo de caucho en los últimos diez años | 4 |
| Tabla 2: Elementos que componen los neumáticos en la UE..... | 11 |
| Tabla 3: Análisis comparativo de procesos | 20 |
| Tabla 4: Terminología de caucho en la mezcla asfáltica | 21 |
| Tabla 5: Investigaciones realizadas sobre mezclas asfálticas con aditivo de caucho en los últimos diez años | 32 |
| Tabla 6: Lista de N° de publicaciones por base de datos | 33 |
| Tabla 7: Cantidad de publicaciones según tipo de fuente entre los años 2008-2018 | 34 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Gráfica 1: Investigaciones publicadas sobre neumáticos reciclados para asfalto dentro de los últimos 10 años | 5 |
| Ilustración 2: Estructura de los neumáticos | 11 |
| Ilustración 3: Pavimento con deterioro superficial | 15 |
| Ilustración 4: Pavimento agrietado | 15 |
| Ilustración 5; Proceso de obtención para la mezcla asfáltica | 16 |
| Ilustración 6: Proceso de trituración del caucho | 17 |
| Ilustración 7: Proceso por vía seca | 19 |
| Ilustración 8: Proceso por vía húmeda..... | 20 |
| Gráfica 9: Investigaciones publicadas sobre neumáticos reciclados para asfalto dentro de los últimos 10 años | 33 |
| Ilustración 10: N° de literatura publicada según las diferentes base de datos. Elaboración propia .. | 34 |
| Ilustración 11: Cantidad de publicaciones según tipo de fuente entre los años 2008-2018..... | 35 |

1. Descripción del problema.

1.1 Análisis de la situación problemática

El Parque Automotor en Latinoamérica y el mundo entero viene creciendo significativamente, generando un problema que necesita de la urgente atención de autoridades y la comunidad en general. De acuerdo a la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el parque vehicular en el solamente en Perú desde el 2012 ha crecido en promedio 7%, llegando en el 2016 a 2,661,719 vehículos circulando en el Perú, de la misma forma como viene ocurriendo en diferentes países de Latinoamérica, donde se estima que el mercado automotriz creció alrededor de 7.1% solamente en el 2018¹.

En vista de un claro crecimiento del parque automotor en Latinoamérica y el mundo entero, es lógico ver con buenos ojos este crecimiento ya que lo podríamos atribuir a un próspero crecimiento económico. Sin embargo, esto solo es la cara buena de la moneda, pocos se percatan del lado oscuro de este crecimiento automotor, nadie piensa que los neumáticos fuera de uso invaden rellenos sanitarios informales, ríos, canteras, torrenteras, en otros espacios públicos, generando contaminación audiovisual, contaminación de suelos, etc.

Este trabajo bibliográfico tiene como punto de estudio los neumáticos reciclados, es necesario hacer de conocimiento que los neumáticos reciclados no pueden ser reutilizados para la fabricación de nuevos neumáticos, razón por la cual son descartados acumulados en vertederos informales, dando lugar a un problema de la acumulación descontrolada de neumáticos reciclados de manera informal. (Córdova, 2010)

Está comprobado que acumulación conjunta entre los neumáticos reciclados y los residuos sólidos biodegradables, es perjudicial para estos últimos, debido a que al juntar ambos residuos sólidos generan las condiciones idóneas para la proliferación de plagas, roedores, insectos, etc., muchos de los cuales darán lugar a la propagación de enfermedades poniendo en riesgo la salud de las personas que se encuentran alrededor. (Córdova, 2010)

¹ Cámara de Comercio de Lima, 2018

En consecuencia, la inexistente gestión para la disposición final y el desaprovechamiento de los neumáticos fuera de uso principalmente en Latinoamérica, los cuales ya cumplieron con su ciclo de vida útil, representan un problema ambiental, económico y de salud pública en Latinoamérica y el mundo entero donde no se llevan a cabo buenas prácticas de reciclaje.

1.2 Formulación del problema

- ¿Es posible aprovechar los neumáticos fuera de uso para su empleo como aditivo en la mezcla asfáltica?

1.3 Sistematización del problema

- ¿Existe información sistematizada sobre los neumáticos reciclados?
- ¿Existe información sistematizada sobre el pavimento flexible?
- ¿Cuál es el tratamiento adecuado para procesar los neumáticos reciclados para transformarlos en aditivo para mezcla asfáltica?
- ¿Cuáles son las ventajas de incorporar el caucho del neumático reciclado como aditivo de la mezcla asfáltica?

2. Objetivo general

Analizar el aprovechamiento de los neumáticos reciclados para su utilización como aditivo en la mezcla asfáltica.

3. Objetivos específicos

- Revisar y sintetizar información acerca de la definición, clasificación, composición, degradación e impacto ambiental los neumáticos fuera de uso.
- Revisar y sintetizar información sobre pavimento flexible (mezcla asfáltica): composición, propiedades.
- Describir el tratamiento a emplear para hacer su uso como aditivo en la mezcla asfáltica.
- Identificar las ventajas de la adición del caucho en la mezcla asfáltica.

4. Justificación de la investigación

4.1 Conveniencia

En vista de los recientes problemas ambientales y su gran impacto negativo que estos generan, tratar un tema ambiental es bien visto por la comunidad en general, debido que a que se busca la constante reducción de este impacto para el bien común y un adecuado consumo de nuestros recursos de manera sostenible.

En este sentido, nuestra investigación sobre la disposición final para su aprovechamiento de neumáticos fuera de uso, es un tema poco difundido y desarrollado a nivel nacional, regional y local, y si se quiere diagnosticar en todo Latinoamérica; sin embargo, este es un tema desarrollado y explotado en otros países a nivel internacional.

4.2 Justificación teórico

En la actualidad el tema de aprovechamiento de neumáticos reciclados es un tema reciente que se está desplegando en el ámbito nacional y de Latinoamérica. Cabe resaltar que existe información relevante de la disposición final de los neumáticos reciclados, encontramos un porcentaje significativo de información entre artículos de investigación, tesis y libros de desarrollan ampliamente temas relacionados, similares al aprovechamiento de los neumáticos reciclados. Estos artículos de investigación, tesis y libros presentes en nuestras referencias los encontramos en los buscadores Scencedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC de donde se obtuvo la base bibliográfica y semántica para poder orientar nuestro trabajo bibliográfico.

4.3 Justificación metodológica

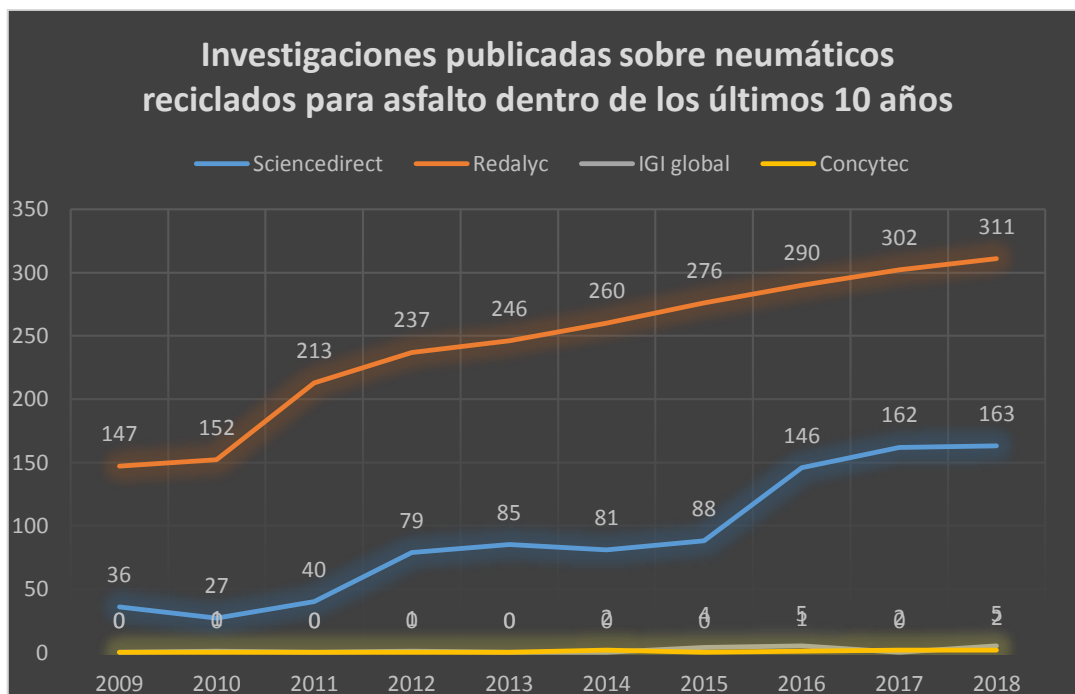
La presente revisión bibliográfica abarca un tema que no es ajeno al contexto de los países latinoamericanos, quienes han venido acogiendo la innovación evolucionada de países europeos como Portugal, Italia y España. Estos países europeos son los pioneros en investigación y aplicación referida al aprovechamiento de los neumáticos reciclados para generar nuevas formas de utilización.

Esta revisión bibliográfica se encuentra delimitada por los diez últimos años. Este tema, eventualmente tuvo origen desde finales del siglo XX, sin embargo, no se fue evidenciando desde los comienzos de los años 2000. Por este motivo, en los años 2008-2018 el desarrollo e interés sobre este tema empezó a despegar. Cabe resaltar, que la presente revisión bibliográfica tomó en cuenta las siguientes bases de datos correspondientes a Sciencedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC. Dentro de las palabras clave con mayor ocurrencia en las revistas científicas encontradas, que refieren el aprovechamiento de los neumáticos reciclados son: neumáticos reciclado, pavimento flexible y caucho.

A continuación tenemos una tabla con su respectiva grafica para mostrar la incidencia de la investigación sobre el uso de neumáticos reciclados para usarlo como aditivo en las mezclas asfálticas.

Tabla 1: Investigaciones realizadas sobre mezclas asfálticas con aditivo de caucho en los últimos diez años

| | Sciencedirect | Redalyc | IGI global | Concytec | Total |
|--------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 2008 | 22 | 105 | 0 | 0 | 127 |
| 2009 | 36 | 147 | 0 | 0 | 183 |
| 2010 | 27 | 152 | 1 | 0 | 180 |
| 2011 | 40 | 213 | 0 | 0 | 253 |
| 2012 | 79 | 237 | 1 | 0 | 317 |
| 2013 | 85 | 246 | 0 | 0 | 331 |
| 2014 | 81 | 260 | 0 | 2 | 343 |
| 2015 | 88 | 276 | 4 | 0 | 368 |
| 2016 | 146 | 290 | 5 | 1 | 442 |
| 2017 | 162 | 302 | 0 | 2 | 466 |
| 2018 | 163 | 311 | 5 | 2 | 481 |
| Total | 929 | 2539 | 16 | 7 | |



Gráfica 1: Investigaciones publicadas sobre neumáticos reciclados para asfalto dentro de los últimos 10 años

Como podemos observar Sciencedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC, han venido publicando sobre el tema, y correspondientemente la cantidad de sus publicaciones vienen siendo ascendente por cada buscador. Podemos destacar que en Redalyc se en los últimos 10 años, desde el 2008-2018, ha venido teniendo una curva de publicaciones creciente cuantitativamente respecto a las otras revistas, sin embargo, podemos notar que todas tienen un proceso ascendente de publicaciones referente a este tema de investigación, es por ellos que justificamos la relevancia de investigación sobre este tema.

4.4 Justificación práctica

Al término de esta revisión bibliográfica es posible alinear a un proyecto de mediana envergadura, como un proyecto de inversión regional. Es decir, nuestro trabajo bibliográfico, serviría de base para poder presentar un proyecto de inversión aprovechando este residuo sólido descartado.

5. Delimitación de la investigación

5.1 Delimitación temporal:

La presente investigación se llevará a cabo durante el semestre académico 2019-I del curso de Taller de Investigación I y culminará en el próximo semestre académico 2019-II.

5.2 Delimitación temática:

La elaboración de la presente revisión bibliográfica, tiene como finalidad identificar la mejor alternativa de las ya existentes, que mejor aproveche la reutilización de los neumáticos reciclados, así como sus ventajas del aprovechamiento del caucho de neumático desechado que genera beneficios de la comunidad en general. Teniendo en cuenta las fuentes literarias, primarias y secundarias de esta revisión bibliográfica correspondientes de las bases de datos recomendadas por la UCSP, tales como: Scimedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC.

6. Marco teórico

6.1 Antecedentes

NÁYADE IRENE RAMÍREZ PALMA EN EL AÑO 2006 en la tesis para obtener el título de ingeniera civil. “*Estudio de la utilización del caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco*”, menciona lo siguiente: a través de la evaluación del proceso húmedo y proceso seco determinó que hay factores como:

- Tecnología de incorporación
- Esencia del caucho
- Granulometría
- Dimensión de las partículas
- Proporción de adición

Que harán posible que las propiedades en la mezcla asfáltica sean mucho mejores al momento de incorporar caucho molido a la mezcla.

Concluyó, para obtener mejores resultados en cuanto el tamaño de los granos de caucho (menor tamaño) las que se añade a la mezcla asfáltica, se obtendrán ventajas competitivas en las propiedades relacionados a la durabilidad. (Ramírez, 2006)

JHON JAIRO VILLAMIZAR ROA ,en el trabajo realizado en Colombia para optar el título de especialista en Evaluación y Gerencia de proyectos, material titulado “Desarrollo de un Estudio de Pre factibilidad de una Planta de Producción de Mezcla con Aditivo de Caucho Reciclado” para ello realizó un estudio de mercado, técnico y financiero del mismo modo los componentes macro y micro ambientales al momento de la producción de la mezcla asfáltica con adición de caucho para la puesta en marcha de una planta de mezcla asfáltica. Con la idea de reducir el impacto ambiental que ocasionan los neumáticos y aprovechando la nueva normatividad acerca de la composición del 10% de goma de caucho reciclado, lo que permite el mejoramiento de las condiciones del asfalto, concluyendo que si es rentable y factible este tipo de proyectos debido a la baja complejidad del proceso productivo. (Villamizar, 2016)

En el año 2017, JORGE GABRIEL DURANT BRODEN en su tesis de doctorado cuyo título es “Relleno Elastómero para Pavimentos Asfálticos en Climas de Altura Mediante el Reciclaje de Neumáticos” manifiesta lo siguiente: la factibilidad del empleo de fragmentos de caucho reciclado a partir de neumáticos usados como relleno en las mezclas de pavimentos asfálticos en el proceso seco. Determinó que la proporción de caucho necesario que se necesita para añadir en la mezcla asfalto-caucho es de 15% y la evaluación a través del método Taguchi posibilitó la ejecución de pruebas a bajo costo en la que obtuvo resultados como la cantidad de caucho y una temperatura de digestión, así mismo manifestó que los siguientes parámetros que mejoran las propiedades de la mezcla asfáltica son:

- Viscosidad: al usar caucho reciclado como modificador del ligante aumento en un 140% lo que resulta mayor elasticidad a bajas temperatura y mayor estabilidad en temperaturas elevadas.
- Penetración: disminuye a la medida que se aumentó la cantidad de caucho y solo un 25% se mantuvo constante, debido a que al agregar el polvo asfáltico este es más viscoso.

- Recuperación elástica: esta característica mejoró y por consiguiente redujo el agrietamiento en climas fríos.
- Punto de ablandamiento: esta característica mejoró en cuanto la cantidad de caucho incrementa, lo cual nos indica que hay un mayor performance ante las posibles deformaciones.(Durant, 2017)

EDWIN YAIR SOTO AVALOS ,en la tesis realizada en Trujillo para obtener el grado de titulado “Influencia de la Incorporación de Porcentajes de Caucho Sobre los Parámetros Marshall en las Mezclas Asfálticas en Caliente “sostiene los efectos generados debido a la incorporación del caucho de neumáticos usados en mezcla asfáltica en caliente siendo este entre 1% y 3% el porcentaje óptimo para poder mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica, con respecto a sus parámetros dicha aplicación ,se llevó a cabo en un tiempo de dos horas y a una temperatura de 170°C,para ello realizó una comparación de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla con componentes de caucho de llanta ,cumpliendo con las exigencias del MTC e incluso debido a que es reciclado los costos de adquisición del producto es menor. (Soto, 2018)

FREDY GOICOCHEA FERNANDEZ, en su tesis de ingeniero, titulado “Estudio de un asfalto con adición de caucho reciclado como polímero base” (tesis de grado).

Tesis realizada en Amazonas, el autor muestra relevancia a las ventajas que se obtienen al añadir caucho de neumáticos a las mezclas asfálticas mencionando las siguientes, presenta mayor cohesión, capacidad elástica adecuada debido a la formación de ahuellamiento, agrietamiento y deformación, evita la aparición de grietas en el pavimento, costo de producción bajo, reducción de la polución del neumático fuera de uso. Además de las ventajas durante el proceso de elaboración al añadir el 20% de polvo de neumáticos, realiza una comparación técnico económico y finaliza en que se presenta un alto porcentaje en ahorro al utilizar este método. (Goicochea, 2019)

En la revista los autores (Palma, Ortiz, Ávalos, & Castañeda, 2018)coincide con el autor antes mencionado indicando algunas de las ventajas ya citados en el punto anterior añade la ventaja del alargamiento de la vida del pavimento, resistencia a

la fractura , además de ello comprobó que el elastómero es aquel componente que tiene una mejor compatibilidad con el asfalto debido a que presenta propiedades elástica.

(Ceballos, 2014) En un trabajo de conclusión de carrera para obtener el grado de Ingeniero en Ecuador, trabajo titulado “Análisis del proceso de creación de carreteras a partir de caucho reciclado, con la finalidad de reducir el impacto ambiental en el Ecuador para el año 2015”; dicho proyecto estuvo orientado en el análisis de la aplicación del granulo que se obtiene a partir de la trituración de los neumáticos fuera de uso para ser usado como aditivo en las mezclas para la creación de carreteras, concluyó que dentro de los procesos revisados el que genera menor impacto ambiental es la trituración mecánica. Otro de los aportes de este autor respecto al tema concluyó que es viable económicamente la exportación de los gránulos de caucho debido al bajo costo de la materia prima que son los neumáticos usados.

(Fajardo & Vergaray, 2014) en la tesis “Efecto de la incorporación por vía seca del polvo neumáticos reciclados como agregado fino en mezclas asfálticas” presentado por LUIS ENRIQUE FEJARDO CACHAY Y DOUGLAS ALFONZO VERGARAY HUAMAN mostraron al final de su análisis los siguientes resultados:

La incorporación del caucho a través de la vía seca como un agregado fino a las mezclas asfálticas para darle un uso a los neumáticos usados y además mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas mejorando las propiedades de las mismas. Además, que la vía seca disminuye el contenido de vacíos de aire. Evaluaron un vasto análisis muy relevante de la relación costo-manteamiento de las carreteras y el hecho de adicionar este componente es beneficioso y que en un plazo a 10 años los costos se reducen en un 16% respecto al uso del pavimento convencional.

De todo lo antes expuesto por los autores citados se pueden mejorar las propiedades de los ligantes asfálticos a través de la adición de pequeñas cantidades de polímeros de caucho de neumáticos reciclados. Como también la reducción de la contaminación ambiental, además de ello el primer tratamiento del neumático;

la trituración no requiere de mucha tecnología y de la misma manera el proceso por vía seca, mencionados por los autores no es tan costoso a diferencia del proceso a través de la vía húmeda.

6.2 Conceptos generales

6.2.1 Neumático nuevo

Debido a que la investigación está basada fundamentalmente en los neumáticos es importante definir antes de abordar el tema.

Los neumáticos son estructuras toroides compuestas por una banda de rodadura, hombros, cinturón, carcasa, flanco y talón. A continuación, pasaremos a detallar las funciones de los diferentes componentes de un neumático desde el exterior al interior. (Durant, 2017)

- El dibujo: diseño sobre la banda de rodamiento, los tacos y los surcos van repartidos ordenadamente.
- Hombros: se trata de la goma gruesa del neumático la que se encuentra más expuesta, ubicados a cada lado de la banda de rodadura, presentan una forma ovalada.
- Banda de rodadura: parte del neumático que directamente está en contacto con el suelo, proporciona adherencia y resistencia al desgaste.
- Cinturón: compuesto por cables de material acero trenzado que bordea todo el neumático con la finalidad de brindar una mayor resistencia y mayor rigidez, ubicados por debajo de la banda de rodadura, formando ángulos agudos.
- Carcasa o armazón: es una estructura flexible compuesta por hilos, cuya función es soportar la carga, la velocidad y ser parte de la estabilidad, rendimiento, confort acústico y direccionalidad.
- Flanco: zona comprendida entre la banda de rodadura y el talón del neumático, cuya función soportar la carga.
- Talón: parte interna del neumático la cual se ajusta a la llanta, compuesto por alambre de acero formando un cable circular y trenzado cuya función es disminuir el patinaje sobre el camino.

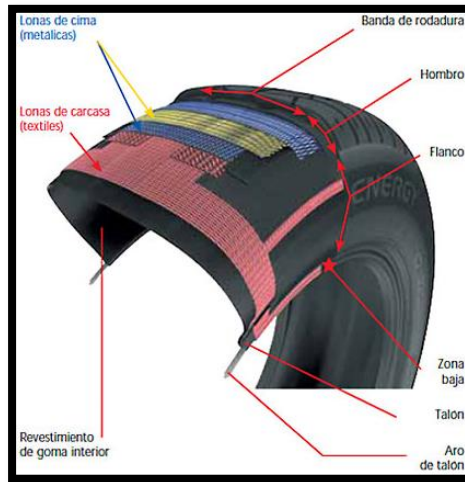


Ilustración 2: Estructura de los neumáticos

Fuente: www.michelin.com.es

Mucho depende del uso y estas varían en tamaño y diseño pero su composición es similar, el compuesto básico que es el caucho natural y sintético en mayor porcentaje, la descripción de detalle se presenta en la tabla siguiente (Sánchez, 2012)

Tabla 2: Elementos que componen los neumáticos en la UE

| Componente | Tipo de vehículo | |
|----------------------------|------------------|------------------|
| | Automóvil | Camión o autobús |
| Elastómero o caucho | 48 % | 43 % |
| Negro humo | 22 % | 21 % |
| Alambre de acero | 15 % | 27 % |
| Hilos | 5 % | - |
| Óxido de Zinc | 1 % | 2 % |
| Azufre | 1 % | 1 % |
| Agregados | 8 % | 6 % |

Fuente: *Elaboración propia. Adaptado de (Cano, Cerezo, & Urbina, 2007)*

Los neumáticos fueron diseñados con la finalidad de resistir diversas disposiciones mecánicas y meteóricas como resistente al ozono, al brillo, lo cual hace que sean invulnerable con el paso del tiempo. Ante ello es importante tomar medidas de manejo adecuado de los neumáticos para su reincorporación a la cadena de gestión, con lo que se evitará los diversos problemas. (Cano et al., 2007)

6.2.1.1 Neumático fuera de uso (NFU)

Neumático fuera de uso son aquellos que, de acuerdo a su estado actual, con relación a las normas de seguridad vigente no son idóneos para su uso para el que fue elaborado.²

Los NFU son aquellos que se han transformado en residuos o su propietario haya rechazado o tenga la intención o responsabilidad de desecho³.

La sociedad percibe que los neumáticos fuera de uso forman parte de la problemática ambiental debido a que anualmente se desechan neumáticos en grandes cantidades sin ser tratados mediante procesos técnicos que evite que estos se conviertan en un problema ambiental⁴.

Los neumáticos se emplean en la construcción de carreteras, así como mezcla de caucho (se le puede denominar ligante o bituminosa) o directamente a la mezcla con los áridos que se emplean. Al momento de la mezcla este tiene que presentar ciertas características para el empleo en obras. (López, Álvarez, & Alguacil, 2012)

6.2.2 Reciclaje

Denomina reciclaje al proceso fisicoquímico o mecánico que hace que un producto ya usado se transforme en materia prima para a efecto de volverlo a incorporar en un ciclo de vida útil. Así como emplear como sustituto de la fracción de áridos que se utilizan en la fabricación de asfalto. (Magallanes & Guillén, 2014)

² Reglamento técnico para neumáticos de automóvil, camión ligero, buses y camiones

³ Ministerio de transición ecológica, 2018

⁴ Reporte Ambiental de Lima y Callao 2010

6.2.3 Asfalto

Está definido como un material con características de color marrón oscuro, cuyos componentes preponderantes son los betunes con un 99% que se consiguen posterior a procesar el petróleo⁵. Estos cementos asfálticos que provienen del petróleo están compuestos por elementos de gran peso molecular. De la misma forma su estructura es compleja siendo hidrocarburos y hetero compuestos. (Botasso, Rebollo, & Soengas, 2008)

6.3 Valoración de los neumáticos

6.3.1 Valoración material o tratamiento mecánico de los neumáticos

Para la valoración material se distinguen dos tipos, primero se puede dar una valoración a través de un proceso de separación de los componentes y otros sin separación de los mismos. Los neumáticos pueden ser reutilizados y valorizados en diferentes usos y podemos obtener caucho granulado y triturado. Este caucho granulado es usado como aditivo en las mezclas para pavimentos que en adelante se explicará.

6.3.2 Valoración energética o tratamiento químico de los neumáticos

Una vez que ya hayan sido preparadas, en la planta recicladora, los residuos del neumático son insertados en una caldera donde se lleva a cabo el proceso de combustión, proceso donde el agua a temperaturas elevadas genera vapor de alta presión que es conducida a un generador (turbina) y al propagarse se genera el movimiento de la turbina como también al generador adaptado y así se producirá electricidad que posteriormente será transformada en energía eléctrica para su uso. (Vignart, 2010)

Se pueden usar de forma triturada o entera aprovechando su poder calorífico sustituyendo como combustible, tomando en consideración la prevención para la protección del medio ambiente.

⁵ ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales

6.4 Tratamiento de los neumáticos en el sector construcción

6.4.1.1 Propiedades de las mezclas asfálticas

- **Durabilidad:** medida en cuanto conserva un pavimento sus características iniciales debido a que es exhibido a procesos naturales de envejecimiento y degradación.
- **Estabilidad:** capacidad que presenta la mezcla asfáltica en forma de resistencia las cargas para evitar las deformaciones. Depende mucho de cuan cohesionado este la mezcla como también de la fricción interior.
- **Flexibilidad:** es la capacidad de acomodo del pavimento o adaptación a las deformaciones sin que se agriete debido a movimientos.
- **Resistencia a la fatiga:** es la resistencia a la flexión debido a las repartidas pasadas por cargas de tránsito.
- **Impermeabilidad:** es la resistencia de tal manera que el aire y agua no pueda atravesar o ingresar hacia su interior, refiere a los vacíos presentes en la mezcla compactada.
- **Oposición al deslizamiento:** capacidad del piso pavimentado de disminuir el deslizamiento de las ruedas de los carros, autos, camiones que transitan, generalmente cuando está húmedo.
- **Trabajabilidad:** es el grado de comodidad con la que una mezcla asfáltica puede ser puesta y compactada.

6.4.1.2 Problemas de las mezclas asfálticas

En la mayoría de casos los pavimentos flexibles presentan los siguientes problemas:

- **Deterioro de la superficie:** separación de capas debido al movimiento del pavimento original y ha sido rellenado con un material similar, para repararlo, estos se deben a causas de procesos de construcción deficientes, parches insuficientes y de

características diferenciados y una mala construcción de la mezcla.
(Miranda, 2010)



Ilustración 3: Pavimento con deterioro superficial

- **Fisura y grieta:** ocurre en mayor parte en los lugares donde hay mayor peso de la carga, mayor esfuerzo de tracción, las causas que originan podrían ser insuficiente espesor, envejecimiento, problemas de drenaje, inadecuado uso de las proporciones de los componentes, reparaciones incorrectas.



Ilustración 4: Pavimento agrietado

6.5 Tratamiento de Granulación

La definición de “tratamiento” en términos del área ambiental, se define como un conjunto de operaciones, actividades cuya finalidad es reducir o eliminar la contaminación o impacto ambiental significativo del agua o el suelo. Asimismo, hablar de tratamiento de residuos como el neumático para referirnos a la minimización de material a confinar, ya sea a través de reciclaje u otros métodos como el tratamiento mecánico⁶.

⁶ Dirección General de Políticas Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental, 2012

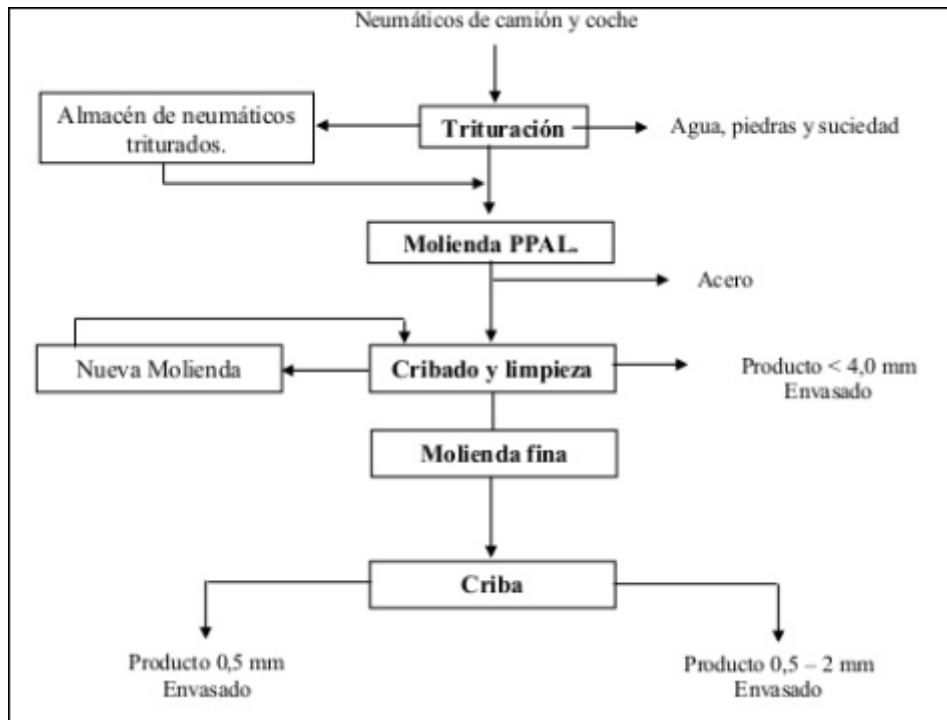


Ilustración 6: Proceso de trituración del caucho

Fuente: Adaptado de (Delnero, 2010)

Varios autores citados anteriormente han coincidido de que la mezcla asfáltica es uno de los productos en las que se adiciona el polvo de caucho teniendo una granulometría entre 0.8 milímetros y 4 milímetros, siendo esta una medida adecuada para mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica.

Considerando también el porcentaje de adición del grano de caucho sobre la mezcla asfáltica oscila entre 3% y 20% del total, muchas veces depende del lugar y las condiciones ambientales en las que se lleva a cabo. Este porcentaje puede variar.

El proceso de granulación tiene mejor acogida debido a que:

- Reutiliza un material demasiado elaborado en la fabricación de nuevos productos, de esta manera evitar que se lleve a cabo su descomposición total y volver a obtener nuevos productos a partir de la materia prima obtenida.
- No ocasiona residuos (sólidos, gaseosos y líquidos) con ello evita la descomposición, en mayor o menor calidad del entorno.
- No es un tratamiento complejo a comparación del energético.

Es importante tener en cuenta la granulometría para alinear su aplicación en cuanto tenga forma más pequeña mejores aplicaciones tendrá (Dalglish et al., 2015)

6.6 Mezcla asfáltica con adición de caucho de neumático

Lewis y Welbom de la Oficina de Caminos Públicos (BPR) llevaron a cabo un vasto estudio de laboratorio para poder evaluar los efectos que presentan los distintos cauchos relacionados con los asfaltos de petróleo.(Sánchez, 2012)

En el Estado de Arizona en la ciudad de Phoenix definen al asfalto como un “proceso húmedo “en el cual presentan una reacción parcial entre el grano de caucho con el cemento asfáltico. (Navarro, 2013)

El gran avance y desarrollo tecnológico de la adición del caucho como un material de pavimentación asfáltica inicia en Estados Unidos en las décadas de los 30, tomó mayor auge en cuanto a su desarrollo en los últimos años. (Inma, 2017)

6.6.1 Proceso de Tratamiento del caucho

El ministerio de Transporte y Comunicaciones a través del Manual de Carretera en el subcapítulo suelos y pavimentos realizado en el año 2014 ⁷indicó que hay dos tipos de tratamiento que se le aplicara a los cauchos. Para un mejor entendimiento los autores (Campaña, Galeas, & Guerrero, 2015) nos aclara mejor las formas de aplicar los cauchos molidos ,para que estas puedan ser añadidas al asfalto esta se clasifican en :

6.6.1.1 Proceso por Vía Seca o Frio

Proceso por el cual se realiza una mezcla directa del caucho con el agregado antes de agregar el ligante al mezclador de tal manera que el

⁷ Norma Peruana para Asfalto

caucho reciclado es usado como agregado en la mezcla asfáltica, los cuales pueden sumarse como parte del agregado fino y este representa entre el 4 % y 7 % de la mezcla total.(Rodríguez, 2016)



Ilustración 7: Proceso por vía seca

Fuente: Adaptado de (Rodríguez, 2016)

6.6.1.2 Proceso por vía húmeda o caliente

En este proceso el caucho es mezclado con el asfalto antes de ser mezclado con el agregado, por ende, requiere de sistemas de alimentación de caucho tanque de calentamiento, de reacción.

La mezcla se lleva a cabo en una planta Asfáltica y luego es transportada al lugar de trabajo, una vez extendida la mezcla sobre el piso preparado se procede a compactar.



Ilustración 8: Proceso por vía húmeda

Fuente: Adaptado de (Rodríguez, 2016)

Tabla 3: Análisis comparativo de procesos

| TIPO DE PROCESO | VIA SECA (MEJORADOR) | VIA HUMEDA (MODIFICADOR) |
|------------------------|----------------------|--------------------------|
| % De Adición de Caucho | 4% - 7% | 4% - 22% |
| Tamaño de partícula | 2mm - 6.33mm | <0.8mm |
| Temperatura | 160°C - 180°C | 175°C - 200°C |

De acuerdo al análisis de la tabla anterior entre el proceso de vía seca y el proceso húmedo, si bien es cierto el proceso húmedo es con el que inicio este tipo de procesos pero eso no significa ser la más adecuada debido a las características que presenta durante su proceso de tratamiento, como se puso realizar la comparación y el mejor proceso es el de vía húmedo debido a que se requiere menos temperatura para la mezcla, mayor tamaño del grano de caucho, razón por la que en el proceso de trituración no será necesario llegar hasta granos muy pequeños a comparación del proceso húmedo.

Coincidió con los Autores (Fajardo & Vergaray, 2014) que a través de un estudio realizado también llegan a la conclusión que el proceso seco es el más adecuado debido a que no requiere grandes equipos en la planta asfáltica porque se maneja como un agregado más

a comparación del húmedo que si lo requiere equipos sofisticados, para realizar este proceso.

Tabla 4: Terminología de caucho en la mezcla asfáltica

| MATERIAL | VÍA | PRODUCTO |
|-------------------------|--------|--|
| GRANOS DE CAUCHO | Húmeda | Asfalto modificado con caucho ó Asfalto-Caucho |
| | Seca | Mezcla asfáltica mejorada con caucho |

Fuente: Obtenido de (Ramírez, 2006)

6.7 Ventajas de adicionar caucho en la mezcla asfáltica

Añadir el polvo del neumático en la mezcla asfáltica en carreteras muestra las siguientes ventajas mencionadas por el autor (Vignart, 2010)

- Producen la disminución del ruido
- Una adecuada adhesión del vehículo
- El aumento del agrietamiento
- El alargamiento del tiempo de vida útil
- Poco mantenimiento que requiere
- Contribuye a la conservación del medio ambiente mediante la reducción de neumáticos reciclado y su indiscriminado desecho

Para el análisis de aprovechamiento de neumáticos reciclados usados como aditivos en el asfalto, bajo la revisión bibliométrica nosotros podemos señalar que la réplica de este proyecto es factible y garantizado en los países Latinoamericano como también en el Perú.

7. Método de investigación

7.1 Descripción del objeto de estudio y unidad de análisis

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo principal analizar el aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso, aquellos neumáticos que ya cumplieron con su vida útil y están aptos para reciclarlos y emplearlos en el proceso de granulación de neumáticos para la obtención de caucho en pequeñas y finas partículas, y posteriormente poder emplearlos como componente aditivo del asfalto flexible, constituyendo en un 3-5 % la composición del mismo.

Para poder analizar la situación actual del aprovechamiento de los neumáticos convertidos en caucho para constituirlo como aditivo del asfalto flexible se ha recurrido a la recolección, revisión y análisis de artículos científicos, tesis, libros de las revistas Scimedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC referentes al tema desarrollado.

7.2 Descripción del tipo de investigación

La presente revisión bibliográfica es de tipo exploratorio, mas no es de tipo experimental. La investigación es básicamente una síntesis de información cualitativa y cuantitativa. Es cualitativa porque empleamos métodos cualitativos como matrices de información, mapas mentales, mapas conceptuales, cuadros sinópticos, cuadros comparativos, para resumir y sintetizar información de las fuentes primarias como son los artículos de investigación, tesis, libros, estos métodos cualitativos fueron de gran utilidad para seleccionar la información de más relevancia que enfatice nuestro tema. Cabe mencionar que también empleamos métodos cuantitativos, es decir, usamos herramientas estadísticas para sacar conclusiones para el análisis bibliométrico, identificar la importancia y la trascendencia del tema en el ámbito académico.

7.3 Instrumentos de investigación

Por un lado, tenemos los métodos e instrumentos cualitativos de investigación, los cuales se realizaron mediante la búsqueda bibliográfica cualitativa de artículos científicos, trabajos de tesis y libros de las revistas recomendadas por la UCSP. Entre los métodos de investigación cualitativa tenemos la realización de matrices de información; elaboración de mapas mentales, mapas conceptuales, cuadros sinópticos y cuadros comparativos, que

fueron herramientas de gran utilidad para poder revisar, analizar y sintetizar la información de la literatura ya mencionada.

De la misma manera tenemos los instrumentos cuantitativos, es decir métodos estadísticos, que fueron útiles para la revisión y análisis bibliométrico de artículos de investigación, tesis y libros de las revistas Scimedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC. Cabe mencionar que se realizó a través de la elaboración de cuadros de doble entrada para poder comparar la relevancia de las fuentes bibliográficas analizando que tipo de fuente es la más enriquecedora del presente trabajo.

De la misma manera se utilizó la Herramienta de gestor para la referencia y la bibliografía. Ver ANEXO 1 y 2.

7.4 Descripción del paso a paso de como la investigación fue realizada

La metodología que se aplicó para analizar el aprovechamiento del neumático reciclado para su uso como aditivo del asfalto flexible corresponde a una revisión bibliográfica, la cual se realizó acorde con los objetivos de la investigación exploratoria, llevándose a cabo de la siguiente manera:

1° Se recolectó artículos científicos de las revistas Scimedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC relacionados con la problemática del aprovechamiento de neumáticos fuera de uso.

2° Se seleccionó los artículos más relevantes y que estén estrechamente ligados con el tema tratar para emplearlos como referencia de nuestra revisión bibliográfica, bajo el criterio de su empleabilidad en el sector construcción y en la fabricación de asfalto modificado.

3° Se recopiló la información más relevante de los artículos de investigación, utilizando matrices informativas, mapas mentales, mapas conceptuales y cuadros sinópticos.

4° Se realizó la síntesis de las diferentes ideas presentes en los artículos, para ello se hizo uso de cuadros comparativos.

5° Se sintetizó información relevante y precisa en los marcos conceptuales, composición, propiedades del neumático, neumático fuera de uso y el asfalto luego se comparó dicha información en los diferentes artículos referenciados en base a criterios cualitativos dado que no se realizó experimentación alguna.

6° Se describió el tratamiento de granulación como, el procedimiento apto para transformar el caucho del neumático reciclado para constituirlo como un aditivo en la mezcla asfáltica y mejorar las propiedades de la misma.

7° En base a todo lo leído, descrito, sintetizado sobre el caucho de neumático apto para constituirse como aditivo en la mezcla asfáltica para pavimentos flexible, determinamos el grado de relevancia de su aplicación en el sector construcción.

De la misma manera revisamos, analizamos y sintetizamos las fuentes literarias más desatacadas para mejor entendimiento de nuestra metodología, en el Apéndice 1, podemos encontrar la información correspondiente.

7.5 Análisis de ventajas, desventajas y limitaciones de los métodos, así como superar estas limitaciones

Debido a que es una investigación exploratoria las limitaciones encontradas fueron el tipo de búsqueda que solo se consideró los recomendados por la universidad siendo esta una restricción para abordar más el tema investigado, debido a que el tema de investigación es mundial.

8. Análisis de resultados

El aprovechamiento de neumáticos reciclados para su uso como aditivo en el asfalto, es un tema que ha venido siendo investigando en los últimos años por diferentes autores en diferentes países, constituyéndolo como proyecto de relevante trascendencia en el sector construcción y de la misma forma generando un impacto ambiental positivo del medio ambiente.

Para poder aprovechar los neumáticos reciclados debemos recurrir a la granulación de caucho de neumáticos, el cual es un procedimiento mecánico sencillo de realizar de bajo costo, rentable y fácil de replicar y ecoamigable. El proceso de granulación solo es la parte mecánica del proceso, cabe resaltar que nuestra propuesta es la mezcla asfáltica por vía seca, la cual se lleva a cabo mediante un proceso sencillo de homogenización que ayuda a mi asfalto flexible a mejorar sus propiedades, además que es un proceso más directo, donde el granulo de caucho es un agregado más de la mezcla asfáltica. Además, aporta mejoras en las propiedades de la mezcla asfáltica, como la propiedad de la elasticidad, haciendo que el pavimento sea más difícil de romper por el peso de los automóviles al transitar las vías de pavimento flexible; la propiedad de fricción, gracias al caucho granulado se reduce el desgaste de los neumáticos de los automóviles al entrar en contacto con el pavimento flexible.

Por otro lado, gracias a este trabajo de investigación podemos ver con claridad porque los neumáticos sin reciclar, desechados indiscriminadamente generan un significativo problema ambiental, porque los neumáticos se encuentran compuestos por material difícil de degradar y además necesitan de siglos de descomposición, y mientras no se tengan medidas de disposición final de los neumáticos estos constituirán un problema ambiental. En este sentido, al aprovechar los neumáticos para su uso como aditivo en el asfalto, a través del proceso de granulado se generaría un impacto ambiental positivo, ya que hacemos provecho del caucho de los neumáticos reciclados, considerando que este procedimiento no genera residuos significativos porque se hace uso de la totalidad del caucho granulado para adherir a la mezcla para el asfalto, generando ventajas al medio ambiente.

9. Conclusiones y recomendaciones

En base a la revisión bibliográfica del aprovechamiento de los neumáticos reciclados para su uso como aditivo del asfalto, se concluye:

- Revisar y sintetizar información acerca de la definición, clasificación, composición, degradación e impacto ambiental los neumáticos fuera de uso.
- Revisar y sintetizar información sobre pavimento flexible (mezcla asfáltica): composición, propiedades.
- Describir el tratamiento a emplear para hacer su uso como aditivo en la mezcla asfáltica.
- Identificar las ventajas de la adición del caucho en la mezcla asfáltica.

1° cumplimos con el primer objetivo, revisamos y sintetizamos información general de los neumáticos, ya que se puede mostrar con claridad la revisión y sintonización de información relevante del neumático reciclado

2° revisamos y sintetizamos información básica y relevante de manera clara, concisa y precisa a cerca del pavimento flexible.

El cumplimiento de los objetivos 1° y 2° son de vital importancia para relacionarlos en tal medida que se llegue a conocer en sus diferentes dimensiones como nociones conceptuales, composición y propiedades correspondientes para analizar y relacionar ambos términos en para aprovechar el caucho del neumático reciclado para constituirlo como componente de la mezcla asfáltica de pavimento.

3° De la misma forma, se describió y determino que el proceso de granulación es un proceso más apto y viable para aprovechar el neumático reciclado, en vista que es un proceso sencillo de replicar, de bajo costo de implementación y grandes ventajas compositivas, mediante el granulado de caucho obtenemos partículas muy pequeñas y muy finas para adjuntar a la mezcla asfáltica para el pavimento flexible. Además, el proceso más adecuado para la aplicación en el sector es a través del proceso por va seca debido a que en una planta asfáltica el caucho se comporta como un agregado más a diferencia del humero que requiere de máquinas tecnificadas.

Por consiguiente, la recolección de información relacionada con el aprovechamiento del neumático reciclado para su uso como aditivo en el asfalto ha permitido conocer el procedimiento mecánico de granulado para aprovechar este residuo sólido que tanto daño y prejuicios ocasiona su indiscriminada manera de desechar.

4° Asimismo, los conceptos y los métodos analizados permiten entender con claridad el proceso de granulado de caucho de neumáticos para constituirlo como aditivo en el asfalto. Permitiendo dar mejores condiciones y ventajas a las propiedades del pavimento flexible y dar una extensión a la vida útil de las vías de pavimento flexible.

Finalmente, una última conclusión derivada de la total revisión bibliográfica y respondiendo a una propuesta de hipótesis, determinamos que en los países de Latinoamérica entre ellos nuestro país, Perú, pueden replicar el aprovechamiento del neumático reciclado mediante el proceso de granulado de caucho entre 0.8mm y 20 mm para componer como aditivo de la mezcla asfáltica en una proporción del 3% al 20% del total de la mezcla ,para la generación de nuevas vías de pavimento flexible, en la industria de construcción ya que constituyen numerosas ventajas como la mejora de las propiedades del pavimento flexible, la reducción de costos para la fabricación de pavimento flexible, mejora de la calidad de la pavimento flexible, y a la conservación del medio ambiente mediante la reducción de neumáticos desechados indiscriminadamente.

Para una mayor solidez del modelo propuesto, se recomienda:

Investigar acerca de nuevas tecnologías de aprovechamiento de los neumáticos reciclados para emplearlas a beneficio de la sociedad y contribuir con la conservación del medio ambiente, estudiando, analizando, investigando y comprobando nuevos procedimientos amigables con el medio ambiente que generen menos residuos y desechos, o en todo caso incluir la simbiosis industrial.

Aplicar el granulado de caucho de neumáticos tiene una fácil viabilidad por su bajo costo, facilidad de réplica, aportar mejoras en las propiedades del asfalto, agregando mayor vida útil al pavimento flexible, además de ser un procedimiento no contaminante y amigable con el medio ambiente, ayudando a la reducción de neumáticos desechados indiscriminadamente, reutilizando y reciclando neumáticos para aprovecharlos de manera trascendente a beneficio de la comunidad en general y el bien común del medio ambiente.

10. Referencias bibliográficas

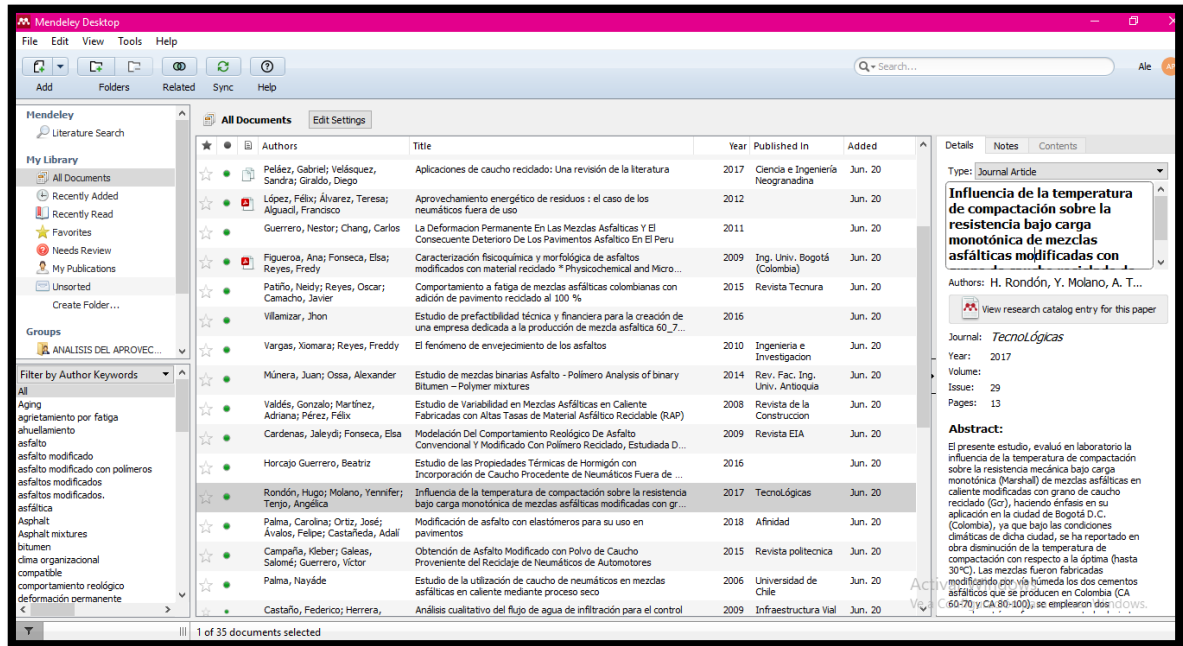
- Botasso, G., Rebollo, O., & Soengas, C. (2008). *Tecnologías Constructivas Utilización de Caucho de Neumáticos en Mezcla Asfáltica Densa en Obras de Infraestructura*. p. 12.
- Campaña, K., Galeas, S., & Guerrero, V. (2015). *Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores*. *Revista politecnica*, 36(3), 6. Recuperado de https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/Obtencion_de_Asfalto_Modificado_con_Polvo_de_Caucho_Proveniente.pdf
- Cano, E., Cerezo, L., & Urbina, M. (2009). *Valorización Material Y Energética De Neumáticos Fuera De Uso*. Recuperado de https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT10_valorizacion-energetica-neumaticos.pdf
- Cárdenas, J., & Fonseca, E. (2009). *Modelación Del Comportamiento Geológico De Asfalto Convencional Y Modificado Con Polímero Reciclado, Estudiada Desde La Relación Viscosidad-Temperatura*. *Revista EIA*, 125-137.
- Castaño, F., Herrera, J., Gómez, J., & Reyes, F. (2009). *Análisis Cualitativo del Flujo de Agua de Infiltración para el Control del Drenaje de una Estructura de Pavimento Flexible en la Ciudad de Bogotá D.C. Infraestructura Vial*, 1, 6. Recuperado de <https://search.ebscohost.com/>
- Ceballos, R. (2015). *Análisis del Proceso de Creación de Carreteras a Partir de Caucho Reciclado, Con la Finalidad de Reducir el Impacto Ambiental en el Ecuador para el año 2015*. Universidad del pacífico.
- Dalglish, T., Williams, M., Golden, A.-M., Perkins, N., Barrett, L., Barnard, P., ... Watkins, E. (2015). *Neumáticos Fuera de Uso*. En *Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana* (Vol. 136, pp. 23-42).
- Delnero, J. (2010). *Circuitos Neumáticos*. España: Paraninfo.
- Durant, J. (2017). *Relleno Elastomérico para Pavimentos Asfálticos en Climas de Altura Mediante el Reciclado de Neumáticos*. https://doi.org/10.1007/8904_2014_350
- Fajardo, L. E., & Vergaray, D. A. (2014). *Efecto de la incorporación por vía seca del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas*.
- Goicochea, F. (2019). *Estudio de un asfalto con Adición de Caucho de Neumático reciclado como Polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017*.
- Inma, S. (2017). *Diagnóstico de Sustentabilidad de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)*.
- López, F., Álvarez, T., & Alguacil, F. (2012). *Aprovechamiento Energético de Residuos : el caso de los neumáticos fuera de uso*. 1-9. Recuperado de http://www.energia2012.es/sites/default/files/Aprovechamiento_energetico_de_residuos_el_caso_de_los_neumaticos_fuera_de_uso.pdf

- Magallanes, C., & Guillén, I. (2014). *Experiencias En El Tratamiento De Neumáticos Fuera De Uso En Iberoamérica*.
- Miranda, R. (2010). *Deterioros En Pavimentos Flexibles Y Rígidos Índice De Materias*. Universidad Austral de Chile.
- Múnera, J., & Ossa, A. (2014). *Estudio de mezclas binarias Asfalto - Polímero Analysis of binary Bitumen – Polymer mixtures*. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 70, 18-33.
- Navarrete, M. (2009). “*Estudio de la Utilización como Combustible Alternativo y plan de Desechados en la Ciudad de Riobamba*”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Navarro, N. (2013). *Confección y Seguimiento de Tramos de Prueb de Mezclas Asfálticas con incorporacion de Polvo de Caucho Nacional de Neumático Fuera de Uso(NFU9)Mediante Vía Seca*. Universidad de Chile.
- Palma, C., Ortiz, J., Ávalos, F., & Castañeda, A. (2018). *Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos*. *Afinidad*, 73(574), 119-124. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/312010/402105>
- Ramírez, N. (2006). *Estudio de la Utilización de Caucho de Neumáticos en Mezclas Asfálticas en Caliente Mediante Proceso Seco* (Vol. 33). Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez_n/sources/ramirez_n.pdf
- Rondón, H., Molano, Y., & Tenjo, A. (2017). *Influencia de la Temperatura de Compactación sobre la resistencia bajo carga monotónica de mezclas asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas*. *Tecnológicas*, (29), 13. <https://doi.org/10.22430/22565337.19>
- Rodríguez, E. (2016). *Uso de polvo de caucho de llantas en pavimentos asfálticos*. *Universidad de Costa Rica*, 7. N°4(4), 7. Recuperado de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/316/4.pdf?sequence=1>
- Rodríguez, S. (2015). *Reutilización de Neumáticos Fuera de Uso* (D. de I. Química, Ed.). España.
- Sánchez, R. (2012). *Segunda vida de los neumáticos usados*. *QuímicaViva*, 11, 24-39. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86323612003>
- Soto, E. (2018). *Influencia de la Incorporación de Porcentajes de Caucho de Llanta Reciclado sobre los Parametros Marshall en las Mezclas Asfálticas en caliente*. Universidad Privada del Norte.
- Valdés, G., Martínez, A., & Pérez, F. (2008). *Estudio de Variabilidad en Mezclas Asfálticas en Caliente Fabricadas con Altas Tasas de Material Asfáltico Reciclable (RAP)*. *Revista de la Construcción*, 7(1), 60-71.
- Vargas, X., & Reyes, F. (2010). El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 27-44.
- Vignart, J. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso: Reciclado y posterior aplicación industrial y comercial* (Vol. 29).

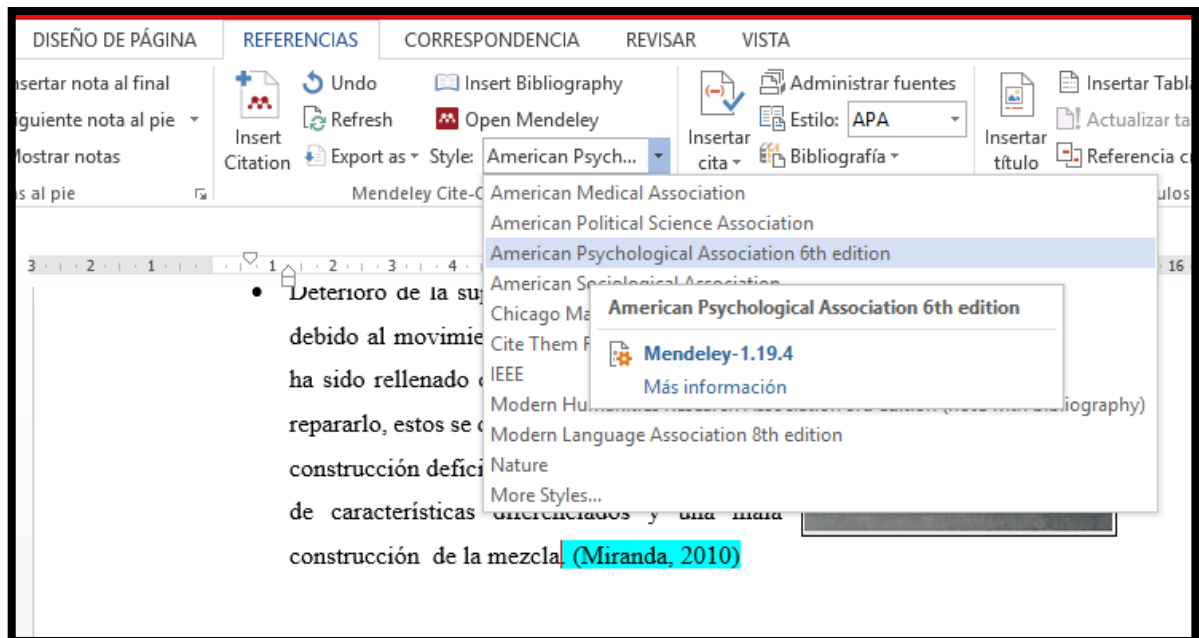
Villamizar, J. (2016). *Estudio de prefactibilidad técnica y financiera para la creación de una empresa dedicada a la producción de mezcla asfáltica 60_70 con CRG (Goma de caucho reciclado)*.

11. Anexos

11.1 ANEXO I



11.2 ANEXO 2



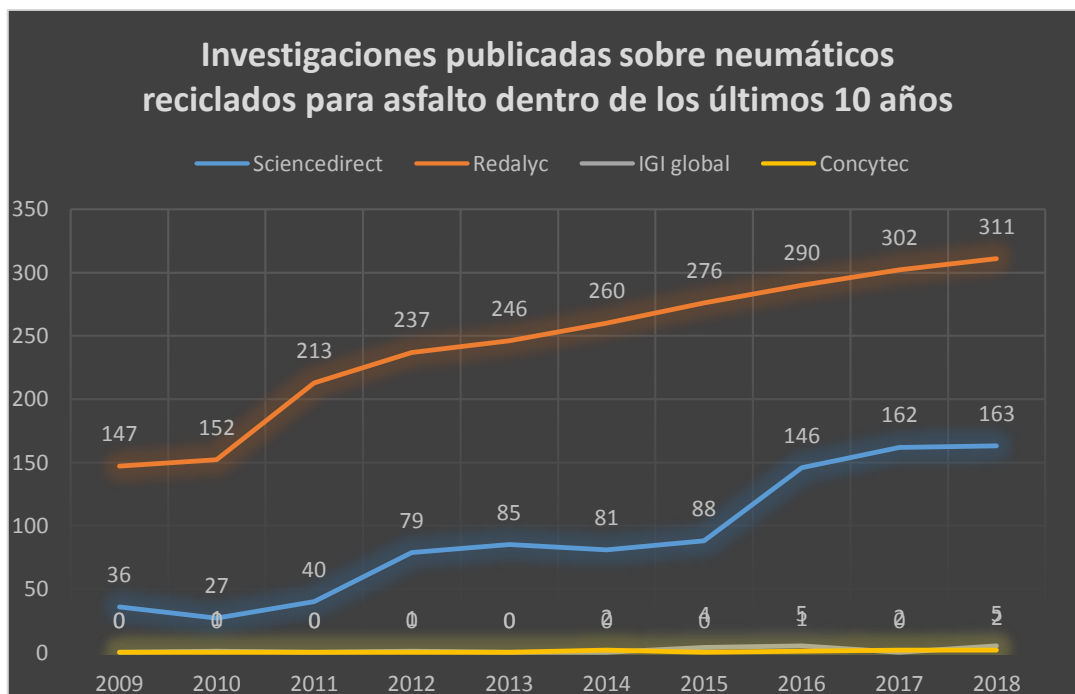
12. Apéndices

Para hacer un análisis bibliométrico de la importancia de la investigación del tema de Aprovechamiento de neumáticos reciclados para su uso como aditivo del asfalto, hicimos el siguiente análisis.

A continuación, tenemos una tabla con su respectiva grafica para mostrar la incidencia de la investigación sobre el uso de neumáticos reciclados para usarlo como aditivo en las mezclas asfálticas.

Tabla 5: Investigaciones realizadas sobre mezclas asfálticas con aditivo de caucho en los últimos diez años

| | Sciencedirect | Redalyc | IGI global | Concytec | Total |
|--------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 2008 | 22 | 105 | 0 | 0 | 127 |
| 2009 | 36 | 147 | 0 | 0 | 183 |
| 2010 | 27 | 152 | 1 | 0 | 180 |
| 2011 | 40 | 213 | 0 | 0 | 253 |
| 2012 | 79 | 237 | 1 | 0 | 317 |
| 2013 | 85 | 246 | 0 | 0 | 331 |
| 2014 | 81 | 260 | 0 | 2 | 343 |
| 2015 | 88 | 276 | 4 | 0 | 368 |
| 2016 | 146 | 290 | 5 | 1 | 442 |
| 2017 | 162 | 302 | 0 | 2 | 466 |
| 2018 | 163 | 311 | 5 | 2 | 481 |
| Total | 929 | 2539 | 16 | 7 | |



Gráfica 9: Investigaciones publicadas sobre neumáticos reciclados para asfalto dentro de los últimos 10 años

Como podemos observar Sciencedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC, han venido publicando sobre el tema, y correspondientemente la cantidad de sus publicaciones vienen siendo ascendente por cada buscador. Podemos destacar que en Redalyc se en los últimos 10 años, desde el 2008-2018, ha venido teniendo una curva de publicaciones creciente cuantitativamente respecto a las otras revistas, sin embargo, podemos notar que todas tienen un proceso ascendente de publicaciones referente a este tema de investigación, es por ellos que justificamos la relevancia de investigación sobre este tema.

Tabla 6: Lista de N° de publicaciones por base de datos

| Base de datos | N° Publicada | Literatura |
|---------------|--------------|------------|
| Sciencedirect | 929 | |
| Redalyc | 2539 | |
| IGI global | 16 | |
| Concytec | 7 | |

Elaboración propia

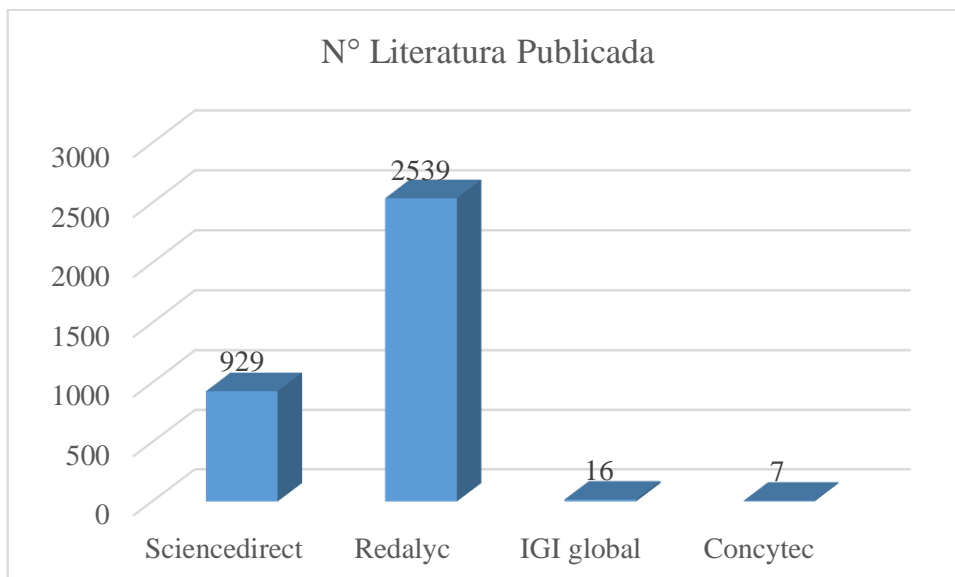


Ilustración 10: N° de literatura publicada según las diferentes base de datos. Elaboración propia

Además de acuerdo a la tabla 5 y a la ilustración 7, podemos destacar que nuestra mayor fuente de literatura a analizar es de la base de datos Redalyc, de la cual se constituye la mayor cantidad de información que se encuentra aquí analizada.

Tabla 7: Cantidad de publicaciones según tipo de fuente entre los años 2008-2018

| | Articulo | Tesis | Libros | Total |
|--------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|
| 2008 | 117 | 4 | 6 | 127 |
| 2009 | 172 | 5 | 6 | 183 |
| 2010 | 170 | 5 | 5 | 180 |
| 2011 | 233 | 5 | 15 | 253 |
| 2012 | 295 | 10 | 12 | 317 |
| 2013 | 300 | 9 | 22 | 331 |
| 2014 | 314 | 5 | 24 | 343 |
| 2015 | 336 | 6 | 26 | 368 |
| 2016 | 386 | 25 | 31 | 442 |
| 2017 | 416 | 24 | 26 | 466 |
| 2018 | 436 | 28 | 17 | 481 |
| Total | 3175 | 126 | 190 | |

Elaboración propia

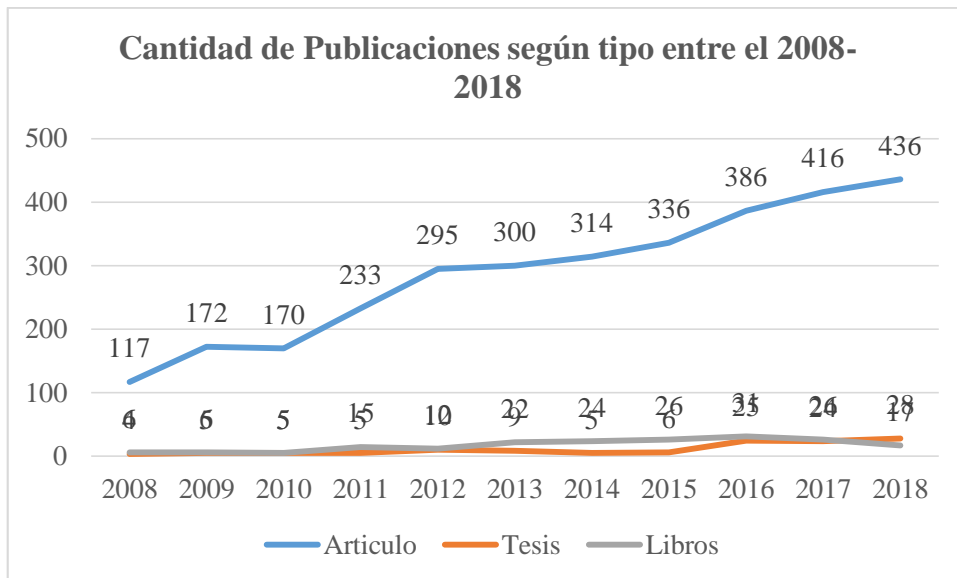


Ilustración 11: Cantidad de publicaciones según tipo de fuente entre los años 2008-2018

Según la Tabla 6 y la Ilustración 8 podemos también señalar que nuestra revisión bibliográfica tiene como fuente más enriquecedora y provechosa los artículos científicos, siendo de estos artículos científicos pertenecientes de las bases de datos Scimedirect, Redalyc, IGI Global y CONCYTEC.