



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“USO DE MATERIALES RECICLABLES EN EL
ASFALTO PARA PAVIMENTO RURALES”: UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE 2009-2019”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Autores:

Jamil Keyondiy Contreras Huaylla

José Manuel Ríos Mariños

Asesor:

Mg. Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A nuestros padres, a nuestros hermanos, a nuestros amigos que nos apoyaron siempre con un poco de sus conocimientos a diario en el transcurso de nuestra carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos salud, bienestar, conocimientos y sabiduría en esta trayectoria de
mi vida universitaria.

A nuestras familias en general por brindarnos todo su cariño en los momentos más
difíciles y que siempre estaban ahí para levantarnos.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURA.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	13
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de registro de artículos Scielo	13
Tabla 2 Matriz de registro de artículos Taylor&Francis	14
Tabla 3 Matriz de registro de tesis de Google Académico	15
Tabla 4 Matriz de registro de artículos Eprints	15
Tabla 5 Matriz de registro de artículos ScienceDirect	16
Tabla 6 Matriz de registro de artículos Redalyc.....	16
Tabla 7 Matriz de registro de artículos CogenEngineering.....	16
Tabla 8 Matriz de registro de artículos CogenEnvironmentaScience	17
Tabla 9 Matriz de registro de artículos Ascelibrary.....	17
Tabla 10 Matriz de registro de artículos ScienceEngineeringMedicine	17
Tabla 11 Clasificación de base de datos según su publicación	18
Tabla 12 Clasificación de base de datos según su tipo de revista.....	19
Tabla 13 Introducción de categorías de los efectos de la temperatura	20
Tabla 14 Introducción de categorías de las propiedades de los agregados	20
Tabla 15 Introducción de categorías de la incidencia de costos.....	21
Tabla 16 Introducción de categorías de la deformación de pavimento.....	21
Tabla 17 Introducción de categorías de las propiedades viscoelásticas	22
Tabla 18 Introducción de categorías de las propiedades física y reológicas.....	22

ÍNDICE DE FIGURA

Figure 1: Proceso de descarte de artículos y tesis..... 13

RESUMEN

El impacto que genera el plástico en el mundo es la contaminación. Nuestra idea de investigación es usar esos plásticos como material reciclable en la rama de transporte y comunicaciones respecto a los pavimentos flexibles. El objetivo es estudiar el comportamiento al reducir el uso del bitumen en la mezcla asfáltica con la implementación de los materiales reciclables en el asfalto para pavimentos rurales, a partir de análisis de artículos de investigación.

Se logró obtener una base de datos como Scielo, Taylor&Francis, ScieDirect, Google Académico, ScieEngineeringMedicine, CogenEngineering, Ascelibrary, Redalyc, Esprints y CogenEngineeringScieDirect; dándonos un total de búsqueda de 21 artículos relacionados con nuestras 2 variables de estudio.

Se analizó los artículos por fecha de publicación en lo que presenta que el año 2017 y 2019 fueron los que más beneficiosos representando con el 19.05% cada uno. Por otro lado, también se logró analizar según el tipo de revista en donde Taylor&Francis represento el 28.31% siendo el mayor de todos. Por último, se dividió en 6 categorías siendo las más relevantes: Efecto de temperatura, incidencia del costo y las propiedades en general.

Este estudio reveló que la adición de materiales reciclables en la carpeta asfáltica es factible para la construcción de las carreteras, debido a que mejora sus propiedades en general. Se recomienda no ser muy puntuales al momento de la búsqueda de información y siempre estar retroalimentándose con el tema de pavimentos para entender su comportamiento, estructura y propiedades.

PALABRAS CLAVES: Asfalto modificado, Bitumen modificado y material reciclable-pavimento.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El uso de materiales reciclables en los asfaltos se ha vuelto una investigación en todo el mundo debido a que el uso del petróleo ha aumentado considerablemente en los últimos años contaminando el medio ambiente. Esta idea no solo propone disminuir la contaminación que deja estos materiales, sino por la mejora que da al reemplazar parcialmente al petróleo en las propiedades mecánicas, químicas y reológicas; así como, el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y medio ambiente. Además, tiene el objetivo de construir pavimentos más durables, resistentes y de mayor vida útil teniendo una mejor relación costo – beneficio (Altan, 2013; Reyes, Guáqueta, Porras y Rondón, 2011; Yung, Córdoba y Rondón, 2016).

El utilizar materiales reciclables como modificadores en la mezcla asfáltica tiene como ventaja brindarnos beneficios económicos y ambientales (Mondarres y Hamedi, 2014; Molenaar, 2012). Aunque el reciclar es una excelente opción, no se realiza mucho reciclaje de los residuos sólidos urbanos producidos a nivel mundial (Bassi, 2017). Con el aumento de costos y mantenimiento en el mundo de la construcción, el usar los materiales reciclables nos brinda una mayor resistencia y durabilidad al pavimento siendo esto muy beneficioso porque nos aumenta el tiempo de vida de una carretera en un 50% con respecto a un pavimento convencional. A nivel mundial se puede reemplazar parcialmente los materiales reciclables por el petróleo en la mezcla asfáltica, porque según estudios realizados suelen tener una buena adherencia al momento de combinar dichas mezclas, siendo esto una manera muy buena para ayudar a cuidar el planeta reciclando y reduciendo la contaminación ambiental.

El asfalto se obtiene en su mayoría como material de lucro residual de la refinación del petróleo y fue uno de los primeros termoplásticos empleados por el hombre como adhesivo (Hernández, 2011). El asfalto es una mezcla de varios componentes que consisten en brea con gravilla que sirve para pavimentar caminos o se usa como aglomerante para la construcción de carreteras, vías y pistas. Su bajo costo le permite usarse en una gran variedad de aplicaciones, entre las que destacan la construcción de carreteras y como material de impermeabilización. Este material al ser muy impenetrable, adherente y cohesivo hace que la estructura del pavimento soporte altas cargas permanentes y perfeccionar la capacidad portante.

Los hallazgos reportados recomendaron que las propiedades de ingeniería y el rendimiento de las mezclas de asfalto aumentarían su productividad al agregar materiales reciclados, especialmente residuos de plástico (Abu y Jung, 2019). El asfalto es una mezcla para la construcción de carreteras, vías y pistas soportando altas cargas permanentes compuestas de gravilla y brea, pero el uso de este último ha generado alta contaminación ambiental en el mundo, por eso se realizaron varios estudios reemplazando parcialmente la brea por materiales reciclables, teniendo buena adherencia al momento de mezclarlas y nos brinda una mayor resistencia, durabilidad y tiempo de vida al pavimento.

Debido a la alta contaminación por plástico que hay en el mundo, se propone implementar una estrategia de usar los materiales reciclables reemplazando al material de petróleo que se usa para la elaboración de asfalto en un pavimento.

El periodo de vida de un pavimento modificado se incrementa en un 50% con respecto a un pavimento convencional que es de 15 a 20 años, brindándonos índices elevados de tránsito y de vehículos pesados en climas fríos y cálidos.

Por lo tanto, el análisis de este artículo responderá a la siguiente pregunta ¿Qué se conoce sobre los beneficios/ventajas que brinda el uso de materiales reciclables en el asfalto para pavimentos rurales entre los años 2009-2019?

Por ello, el objetivo de esta revisión sistémica es estudiar el comportamiento al reducir el uso del bitumen en la mezcla asfáltica con la implementación de los materiales reciclables en el asfalto para pavimentos rurales, a partir de análisis de artículos de investigación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Los criterios que tuvimos en cuenta en la presente revisión sistemática para la selección de base de datos de los artículos científicos/revisión y tesis fueron que cumplan con los años establecidos, 2009-2019. La base de calidad donde fueron extraídas los artículos son fuentes seguras. A su vez, estas contenían nuestras dos variables elegidas según nuestro criterio en la línea de investigación. Así mismo los artículos gozaban de los idiomas castellano e inglés para fácil entendimiento. También los artículos debían cumplir con el esquema del IMRD. Por último, la información que contenían era muy puntual con los conceptos de nuestras variables siguiendo el camino a donde queríamos llegar en nuestra revisión sistemática.

Para la base de búsqueda de datos fue Scielo, Taylor&Francis, ScienceDirect, Google Académico, SciencesEngineeringMedice, CogenEngineering, CogenEnviromentalScience, Ascelibrary, Redalyc y Esprints en donde se encontraron artículos y tesis con un total de 25 investigaciones entre ambos, y de estos seleccionamos un total de 21 artículos/tesis para la revisión sistemática.

Las estrategias para la búsqueda de estos artículos, fueron por nuestras variables definidas (materiales reciclables y asfalto). Además, usábamos palabras relacionadas como el caso del asfalto que lo enlazábamos con carpeta asfáltica, pavimento, carreteras, bitumen, etc. Así como el concepto de analogía conjunto – elemento como el caso de materiales reciclables lo desglosábamos en polímeros, caucho, etc. También se consideró en base a la pregunta de investigación dado a que nos deja en claro el objetivo principal del proyecto. Y, por consiguiente, respecto al idioma inglés y español al ser los más usados en nuestra zona.

En la búsqueda también se encontraron artículos con las variables teniendo relación, pero fueron descartadas al no estar dentro de nuestro rubro con el tipo de pavimento como también en mejorar mas no construir el pavimento. Además, se descartó porque el material reciclable en que queríamos profundizarnos era los polímeros teniendo 3 artículos que no tenían relación ya que se usaba los desperdicios de ladrillos y poliuretano.

Se empleó la matriz de base de datos para ver que contenía cada artículo científico, artículo de investigación o tesis. Tales conceptos fueron a que universidad, autor, año y país pertenecían dichos tipos de artículos. También se observó si contenía la estructura del IMRD, saber los conceptos que relacionan con nuestras variables para así descartar o incluir en nuestra dicha matriz.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se hicieron de acuerdo a una base de datos de artículos científicos/revisión y tesis, teniendo un total de 25 registros entre los años 2009-2019, haciendo un descarte de 4 artículos porque no cumplían con los requisitos establecidos en un inicio para la realización de nuestra revisión sistemática (Ver fig. 1).



Figure 1: Proceso de descarte de artículos y tesis.

De los 21 artículos científicos/revisión y tesis se elaboraron tablas de matriz de registros de artículos para cada uno, presentando los siguientes puntos: Base de datos, autor/autores, año y título de artículo de investigación (Ver Tablas 1-10)

Tabla 1
Matriz de registro de artículos Scielo

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	Scielo	Rolando Vila Romaní, José Gabriel Jaramillo Briceño	2018	Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto
2	Scielo	William Andrés Castro López, Hugo Alexander Rondón Quintana, Juan Carlos Barrero Calixto	2015	Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEB

3	Scielo	Yee Wan Yung Vargas, Jorge Eliécer Córdoba Maquilón, Hugo Alexander Rondón Quintana	2016	Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR)
4	Scielo	Henry Yecid Bustos Castañeda; Pedro Alexander Sosa Martínez; Nelson Rodríguez Ramírez; Jeimy Natalia Calderón Bustos	2018	Fundamentos micro y macroscópicos de la modificación del asfalto convencional con polímeros

Nota: Los artículos Scielo fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 2
Matriz de registro de artículos Taylor&Francis

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	Taylor&Francis	Joana Peralta, Hugo MRD Silva, Ana V. Machado, Jorge Pais, Paulo AA Pereira y Jorge B. Sousa	2014	Cambios en el caucho debido a su interacción con el betún al producir caucho asfáltico
2	Taylor&Francis	Nouali, Mohammed; Derriche, Zohra; Ghorbel, Elhem; Chuanqiang, Li	2019	Plastic bag waste modified bitumen a possible solution to the Algerian road pavements
3	Taylor&Francis	Badejo, Adedayo A.; Adekunle, Adebola A.; Adekoya, Olusola O.; Ndambuki, Julius M.; Kupolati, Kehinde W.; Bada, Babatunde S.; Omole, David O.	2017	Residuos plásticos como modificadores de resistencia en el asfalto para un medio ambiente sostenible
4	Taylor&Francis	Ziari, Hassan; Kaliji, Arman Ghasemi; Babagoli, Rezvan	2016	Evaluación de laboratorio del efecto de la botella de plástico de desecho (PET) sobre el comportamiento en celulosa de mezclas de asfalto en caliente

5	Taylor&Francis	Abu Abdo, Ahmad M.; Jung, S. J.	2019	Investigación de pavimentos flexibles de refuerzo con fibras plásticas de desecho en Ras Al Khaimah, Emiratos Árabes Unidos
---	----------------	------------------------------------	------	---

Nota: Los artículos Taylor&Francis fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 3

Matriz de registro de tesis de Google Académico

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	Google Académico	Genderson Billy Estrella Davila	2016	Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto
2	Google Académico	Andrés Berrío Alzate	2017	Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo
3	Google Académico	Brayan Josué Ortíz Marroquín	2017	Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall

Nota: Las tesis de google académico fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 4

Matriz de registro de artículos Eprints

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	Eprints	Genoveva Hernández	2011	Caracterización Morfológica de asfalto modificado con diferentes copolímeros a altas concentraciones

Nota: Los artículos de Eprints fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 5
Matriz de registro de artículos ScienceDirect

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	ScienceDirect	Altan Cetin	2013	Efectos del Tamaño y Concentración del Caucho Desmenuzado en el Desempeño de Mezclas de Asfalto Poroso
2	ScienceDirect	Bai, Min	2017	Investigación de las propiedades a baja temperatura del reciclado del aglutinante asfáltico modificado SBS envejecido

Nota: Los artículos de ScienceDirect que fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 6
Matriz de registro de artículos Redalyc

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	Redalyc	Fredy Alberto, Reyes Lizcano; Catalina Guáqueta, Echeona; Porrás Salcedo, Laura; Rondón Quintana Hugo	2011	Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC

Nota: Los artículos de Redalyc fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 7
Matriz de registro de artículos CogenEngineering

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	CogenEngineering	Abu Abdo, Ahmad M.; Khater, Mohammed E.; Pratico, Filippo G.	2018	Mejora de la resistencia al ruteo del aglutinante asfáltico mediante la adición de residuos de plástico

Nota: Los artículos de CogenEngineering fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 8

Matriz de registro de artículos CogenEnvironmentaScience

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	CogenEnviromentalScience	Asare, Patricia Nana Ama; Kuranchie, Francis Atta; Ofosu, Eric Antwi; Verones, Francesca	2019	Evaluation of incorporating plastic wastes into asphalt materials for road construction in Ghana

Nota: Los artículos de CogenEnvironmentaScience fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 9

Matriz de registro de artículos Ascelibrary

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	Ascelibrary	VS Punith ; SN Suresha; Sridhar Raju ; Sunil Bose y A. Veeraragavan	2011	Investigación de laboratorio de mezclas de fricción de grado abierto que contienen polímeros y fibras de celulosa

Nota: Los artículos de Ascelibrary fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Tabla 10

Matriz de registro de artículos ScienceEngineeringMedicine

Nº	BASE DE DATOS	AUTOR/AUTORES	FECHA	TÍTULO DE ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
1	ScienceEngineerigMedicine	Kumar, Praveen; Garg, Rashi	2009	Reología de los residuos de betún modificado con fibras plásticas
2	ScienceEngineerigMedicine	Martin-Alfonso, J.E.; Cuadri, A.A.; Torres, J.; Hidalgo, M.E.; Partal, P.	2019	Utilización de residuos plásticos de invernadero en mezclas asfálticas fabricadas por proceso seco

Nota: Los artículos de ScienceEngineeringMedicine fueron seleccionados después de pasar por una revisión cumpliendo con los criterios de: IMRD, idioma, calidad entre otros.

Posteriormente, se realizó tablas sobre características de estudios clasificándolas por el año de publicación, observando de los 2009 a 2019 hay dos años que no se logró utilizar en la base de datos siendo estas los años 2010 y 2012 (Ver tabla 11).

Tabla 4
Clasificación de base de datos según su publicación

AÑO DE PUBLICACIÓN	CANTIDAD DE ARTÍCULOS/TESIS	PORCENTAJE
2009	1	4.76%
2010	0	0.00%
2011	3	14.29%
2012	0	0.00%
2013	1	4.76%
2014	1	4.76%
2015	1	4.76%
2016	3	14.29%
2017	4	19.05%
2018	3	14.29%
2019	4	19.05%
TOTAL	21	100%

Nota: En la clasificación por año de publicación se observó que en los años 2017 y 2019 son los más usados con un 19.05% c/u mientras que el 2010 y 2012 no se encontró nada.

Así mismo, se realizó una distribución según el tipo de revista de donde fue sacada la información para la realización de la revisión sistemática. Teniendo gran variedad en la búsqueda de información presentando 10 revistas diferentes (Ver Tabla 12).

Tabla 5
Clasificación de base de datos según su tipo de revista

TIPO DE REVISTA	CANTIDAD DE ARTÍCULOS/TESIS	PORCENTAJE
Scielo	4	19.05%
Taylor&Francis	5	28.31%
ScienceDirect	2	9.52%
Google Académico	3	14.29%
SciencesEngineering	2	9.52%
Medicine	2	9.52%
CogenEngineering	1	4.76%
Ascelibrary	1	4.76%
Redalyc	1	4.76%
Esprints	1	4.76%
CogenEnviromental	1	4.76%
Science	1	4.76%
TOTAL	21	100%

Nota: En la clasificación por tipo de revista se observó que el más usado fue Taylor&Francis con un 28.31% mientras que 5 revistas aportaron con un 4.76% cada uno.

Finalmente, se realizó un análisis global de todos los aportes más importantes extraídas de las discusiones de los artículos, sacando alrededor de más de 50 ideas principales para luego clasificarlos por categorías teniendo las siguientes: Efectos de la temperatura, incidencia del costo, deformación de pavimento, propiedades de los agregados, propiedades visco elásticas y propiedades físicas y reológicas. (Ver tabla 13-18). Sin embargo, las ideas extraídas a continuación no son todas ya que hicimos una elección de las mejores ideas para brindar un excelente trabajo.

Tabla 13

Introducción de categorías de los efectos de la temperatura

CATEGORÍAS	APORTES
Efectos de la temperatura	<p>El asfalto modificado con PEBD presenta un aumento notable en la dureza y mejoramiento al estar expuesto a altas temperaturas. Así mismo, este es más resistente a la oxidación y a la decadencia por el incremento de temperatura. Sin embargo, experimenta una reducción de la resistencia al agrietamiento, debido a temperaturas bajas e intermedias de servicio. (Castro, Rondón y Barrero, 2015).</p> <p>Los polímeros plastómeros pueden ser añadidos en zonas con temperaturas superiores a 24 °C, mientras que al incorporar polímeros elastoméricos de manera individual al asfalto, este permite tener baja rigidez y excelentes propiedades elásticas a temperaturas bajas de servicio, con lo que se reduce el peligro de la aparición de fisuras por cambios de temperatura. (Bustos, Sosa, Rodríguez y Calderón, 2018).</p> <p>Existe un límite en los rangos de temperatura, donde las mezclas asfálticas se comportan en buen estado para carreteras en zonas tropicales, los cuales influyen en las características del asfalto generando en instancia una reducción en la durabilidad de las carreteras (Bustos, Sosa, Rodríguez y Calderón, 2018).</p> <p>La viscosidad del aglutinante del asfalto tuvo una alta trascendencia en la vida útil del pavimento, así que se evaluaron muestras de este con diferentes porcentajes de residuos plásticos y así determinar su viscosidad rotacional a diferentes temperaturas. Estos ensayos nos indicó que al incrementar los desechos plásticos hizo que la viscosidad del aglutinante aumente, especialmente a temperaturas más bajas (Pratico, Casciano y Tramontana, 2011).</p>

Nota: Se presentaron 4 aportes de diferentes autores referentes a la temperatura dándonos información de como se ve afectado el asfalto con material reciclable.

Tabla 14

Introducción de categorías de las propiedades de los agregados

CATEGORÍAS	APORTES
Propiedades de los agregados	<p>Se reporta un aumento considerable en la resistencia al desgaste por abrasión, a la resistencia bajo carga monotónica y la rigidez bajo carga cíclica de la mezcla drenante (MD) cuando se modifica con grano de caucho reciclado (GCR). (Yung, Córdoba y Rondón, 2016).</p> <p>Las mezclas con agregación de PET de tamaño 5,0 [mm], presenta un comportamiento progresivo del porcentaje de vacíos, a la altura en la que crece la adición del polímero, analizando las de mayor tamaño, pero sin la posibilidad de llenar todos los vacíos, alterando levemente la granulometría de la mezcla. (Berrío, 2017).</p>

Los resultados de la penetración indican que la adición de 0.7% de residuos de bolsas de plástico disminuye la tasa de envejecimiento del betún, dando una mejor durabilidad posible a la mezcla asfáltica del pavimento preparado con el betún modificado con desechos plásticos (Nouali, Derriche, Ghorbel y Chuanqiang, 2019).

Los resultados indican que el contenido vacío disminuye con el contenido plástico, desde 8.71% para la mezcla de control a 7.7% para el 0.9% de betún plástico (Nouali, Derriche, Ghorbel y Chuanqiang, 2019).

Nota: Se presentaron 4 aportes de diferentes autores referentes a las propiedades de los agregados dándonos información de cómo se ve afectando ante diferentes ensayos.

Tabla 6

Introducción de categorías de la incidencia del costo

CATEGORÍAS	APORTES
	Respecto al precio en mezcla en caliente por m ² , este se aumenta en razón de 2% al precio de una mezcla en caliente convencional. Así mismo, esta relación le pasa al concreto asfáltico en m ² respecto a un concreto asfáltico convencional, teniendo la misma tendencia en mezcla asfáltica en caliente 2” (obra) y concreto asfáltico 2” (obra). (Genderson Billy Estrella Dávila, 2016).
Incidencia del costo	El capital necesario para gestionar los desechos plásticos se reducirán debido al reciclaje de estos en el sistema, al mismo tiempo que sirve como un material alternativo y tecnológico más barato para la construcción de carreteras (Ama, Atta y Antwi, 2019). Los polímeros son costosos en comparación con el betún, lo que significa que la cantidad de polímero al agregar al pavimento para mejorar su rendimiento debe ser más pequeña posible. Esta significativa limitación podría evitarse utilizando materiales de desecho como los plásticos (Kumar y Garg, 2009).

Nota: Se presentaron 3 aportes de diferentes autores referentes a la incidencia del costo dándonos información de cómo es muy económico al usar los materiales reciclables.

Tabla 16

Introducción de categorías de la deformación de pavimento

CATEGORÍAS	APORTES
Deformación de pavimento	Los diagramas de Black nos dan a entender que los asfaltos modificados tienen mejores comportamientos ante las deformaciones plásticas que el asfalto de Esmeraldas, por lo que la actualidad las exigencias del Superpave podrán cumplirse con menores ángulos de fase (Vila y Jaramillo, 2018).

Las mezclas que tiene valores bajos de fluencia y altos de estabilidad Marshall son bastantes frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Además, aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienden a deformarse bajo las cargas del tránsito. (Genderson Billy Estrella Dávila, 2016).

Esto significa que los vehículos pesados que pasen por las carreteras causarán un daño mínimo a las carreteras hechas con desechos plásticos (Ama, Atta y Antwi, 2019).

En cuanto más plástico se agrega al pavimento, más aumentaba el valor de Estabilidad Marshal (Ama, Atta y Antwi, 2019).

Nota: Se presentaron 4 aportes de diferentes autores referentes a la deformación de pavimento dándonos información de cómo se ve afectado ante las cargas permanentes.

Tabla 17

Introducción de categorías de las propiedades visco elásticas

CATEGORÍAS	APORTES
Propiedades visco elásticas	<p>El cambio del módulo G^* en el comportamiento visco elástico depende principalmente del tiempo de carga (t) y temperatura (T), por lo que un mismo G^* se puede obtener con diferentes combinaciones de dichos parámetros. (Vila y Jaramillo, 2018).</p> <p>Las diferencias entre la reología de los polímeros y los asfaltos convencionales, juegan un papel significativo en la modificación de los asfaltos, debido a que tienen la magnitud de cambiar elástica y plásticamente variando las propiedades visco elásticas en rangos de temperatura (Bustos, Sosa, Rodríguez y Calderón, 2018).</p> <p>Los asfaltos modificados con polímeros en estado inicial presentan para todos los módulos un ángulo de fase menor y tendrán un mejor comportamiento que el asfalto base ante esta falla. Se destaca que el asfalto modificado con SBS es el que mejor se comporta, seguido del modificado con caucho. (Vila y Jaramillo, 2018).</p>

Nota: Se presentaron 3 aportes de diferentes autores sobre las propiedades visco elásticas donde la relación módulo de corte/ángulo de fase, sea alta para evitar el ahuellamiento.

Tabla 18

Introducción de categorías de las propiedades física y reológicas

CATEGORÍAS	APORTES
Propiedades física y reológicas	<p>Durante los ensayos las muestras presentaron una estructura homogénea, donde el asfalto empieza a interconectarse entre la fase discreta del polímero modificador. Al incrementar la concentración de este, se aprecia una estructura homogénea formada por paredes de EVA, donde se ve la presencia del asfalto (Hernández, 2011).</p>

Las mezclas que contienen aglutinantes modificados con polímeros tienen mayor rigidez que las que contienen aglutinantes no modificados con fibras, mejorando el módulo elástico de las mezclas de asfalto poroso en comparación con las mezclas con fibras de celulosa para ambos esfuerzos de compactación. (VS Punith ; SN Suresha; Sridhar Raju ; Sunil Bose y A. Veeraragavan, 2011).

El betún se vuelve más duro con la adición de plástico (Jiqing, 2014).

Existe la necesidad de utilizar desechos plásticos en las carreteras, dado a que la absorción es mínima y estas pueden durar más de 10 años en comparación con las carreteras convencionales, que son 5. (Yenkar, Jagtap y Borkar, 2017).

Nota: Se presentaron 4 aportes de diferentes autores referentes a las propiedades físicas y reológicas de como se ve afectado el material reciclable al diluirse con el bitumen.

La revisión sistemática presentó aportes en los resultados, donde lo dividimos en categorías. Cada una de estas se enfoca en los últimos avances tecnológicos, el cambio de sus propiedades físicas y mecánicas, implementos, el análisis del costo que tienen al momento de su modificación, entre otras posturas de las variables de estudio. Cada contribución nueva y con solidez en su base, se asocia directa o indirectamente con el estudio realizado.

Luego de realizar la búsqueda de los artículos, leerlos y relacionarlos con las variables de nuestra investigación, encontramos que el artículo 2 de la Tabla 1, ayudaba a sostener que los pavimentos construidos siempre estarán expuestos al ambiente, lo que uno de los factores más importantes que lo afectan es la temperatura y los efectos que producen al pavimento debido a su variación. Este sostiene que al agregar al asfalto convencional el PEBG, este presenta un aumento notable en la dureza y resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas; pero también una baja rigidez y excelentes propiedades elásticas a temperaturas bajas mencionado en el artículo 4 de la Tabla 1, lo que ambos nos da a entender que el pavimento modificado con PEBG apenas tiende a tener fisuras en su estructura por cambios de temperatura.

Por otro lado, cada nueva tecnología para algo convencional, siempre se debe tomar en cuenta la economía de esta investigación, donde los precios de mezcla en caliente y el concreto asfáltico por m², aumentan en razón de 2% respecto a sus convencionales, tal y como nos indica el artículo 1 de la Tabla 3, además de que los polímeros tienen un alto elevado de costo respecto al betún, dándonos a entender que al momento de ejecutar una obra con pavimento modificado con polímeros, debemos usar lo mínimo posible para mejorar su rendimiento, sin embargo esto se puede evitar con el uso de desechos plásticos en el pavimento generando mayor reciclaje en el mundo y a la vez más barato para la construcción de las carreteras expresado en el artículo 1 de la tabla 10 y el artículo 1 de la tabla 8 respectivamente.

Para finalizar, otro factor importante que pasa al momento de modificar el pavimento son sus propiedades en general, como resistencia al desgaste por abrasión y bajo carga monótona al agregar caucho reciclado y el comportamiento progresivo que tiene al reducir el porcentaje de vacíos con el contenido plástico tal y como lo sustentan los artículos 3, 2 y 2 de las tablas 1, 3 y 2 respectivamente. Además la reología de los polímeros produce que la elasticidad y rigidez del pavimento cambie por los rangos de temperatura y tiempo de carga destacando que el asfalto modificado con SBS es el que mejor se comporta a tales efectos como lo indican los artículos 4 y 1 de la Tabla 1; pero si agregamos aglutinantes modificados con polímeros, estos producen estructuras homogéneas con mayor rigidez mejorando su módulo elástico y aumentando su vida útil por más de 10 años sustentados en los artículos 2 y 1 de las Tablas 9 y 4 respectivamente, y por consiguiente, ante deformaciones plásticas, lo que significa que los vehículos de carga pesada generarán un daño reducido a los pavimentos con desechos plásticos como lo sustentan los artículos 1 y 2 de la Tabla 1 y 8 respectivamente.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

En la presente revisión sistemática se estudió y se logró entender que, al adicionar materiales reciclables en el asfalto, objeto de estudio que nos beneficia en la construcción de carreteras, puesto que mejora la estructura, propiedades en general y fenómenos que malogran o maltratan al pavimento; así como también, reducir la contaminación de plástico en el mundo que poco a poco destruye el medio ambiente.

Los resultados obtenidos fueron debido a un análisis de características de estudios donde se observó que la gran mayoría de información fueron sacados de artículos de investigación y científicos. Sobre el contenido de los 21 artículos se encontró que los años 2017 y 2019 fueron los que más aporte nos brindó con un 19.05% cada uno, siendo el que menos año aportó el 2009, 2013, 2014 y 2015 con un 4.76% cada uno. Además, se hizo un análisis para saber cuál fue la revista más usada siendo Taylor&Francis con un 28.31%, y los que menos aporte nos dio fue CogenEngineering, CogenEnvironmentalScience, Ascelibrary, Redalyc, Esprints con un 4.76% cada uno. Por último, se presentó un análisis global de estudios donde los resultados obtenidos en los ensayos que realizaron los investigadores al incorporar material reciclaje en el pavimento, afectándolo internamente como la deformación plástica donde asfaltos modificados tienen mejores comportamientos dándole una mayor resistencia a la tracción de la mezcla. También se vio que las propiedades de los agregados nos den nuevos valores al modificarlo como a una mejor resistencia a la penetración, reducción de los porcentajes de los vacíos y un aumento a la resistencia del desgaste. Además de un aumento y disminución del módulo completo del corte y ángulo de fase respectivamente. Las muestras presentaron una estructura homogénea, cuando el asfalto se interconecta con el polímero, contribuyendo a su fluidez y suavidad haciendo que el betún sea más denso. También se presentó un factor externo, temperatura, donde asfaltos

modificados presentaron un notable incremento en la rigidez, desgaste a la abrasión y funcionamiento disminución de la resistencia del agrietamiento en aumento y disminución de la temperatura respectivamente. En relación a la incidencia del costo, el gestionar los derechos plásticos se reducirá debido al reciclaje y es un material alternativo más barato para la construcción de carreteras.

En cuanto a la búsqueda de información, al inicio nuestras variables eran muy puntuales lo que nos delimitó mucho la búsqueda de los artículos, lo que nos llevó a ampliar las variables de manera global y así obtener más información. Se sugiere retroalimentarse con los conceptos de las variables afondo, además de los ensayos que se realizan en los pavimentos convencionales para entender su comportamiento, estructura y propiedades.

REFERENCIAS

- Abu, A., Ahmad, M., & Jung, S. (2019). Investigación de pavimentos flexibles de refuerzo con fibras plásticas de desecho en Ras Al Khaimah, Emiratos Árabes Unidos. *Taylor&Francis*.
- Abu, A., Khater, M., & Practico, F. (2018). Mejora de la resistencia al ruteo del aglutinante asfáltico mediante la adición de residuos de plástico. *CogenEngineering*.
- Adekoya, O., Adekunle, A., Bada, B., Babatunde, S., Badejo, A., Hupolati, K., . . . Omole, D. (2017). Residuos plásticos como modificadores de resistencia en el asfalto para un medio ambiente sostenible. *Taylor&Francis*.
- Alfonso, M., Cuadri, A., Hidalgo, M., Portal, P., & Torres, J. (2019). Utilización de residuos plásticos de invernadero en mezclas asfálticas fabricadas por proceso seco. *SciencesEngineeringMedicine*.
- Altan, C. (2013). Efectos del Tamaño y Concentración del Caucho Desmenuzado en el Desempeño de Mezclas de Asfalto Poroso. *ScienceDirect*.
- Asare, P., Kuranchie, F., Ofosu, E., & Verones, F. (2019). Evaluación de la incorporación de desechos plásticos en los materiales asfálticos para la construcción de carreteras en Ghana. *CogenEnvironmentalScience*.
- Babagoli, R., Kaliji, A., & Ziari, H. (2016). Evaluación de laboratorio del efecto de la botella de plástico de desecho (PET) sobre el comportamiento en celulosa de mezclas de asfalto en caliente. *Taylor&Francis*.
- Bai, M. (2017). Investigación de las propiedades a baja temperatura del reciclado del aglutinante asfáltico modificado SBS envejecido. *ScienceDirect*.
- Berrio, A. (2017). *Diseño y evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica tipo MSC-19 con incorporación de Tereftalato de Polietileno reciclado como agregado constitutivo*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia:Medellin.
- Bose, S., Raju, S., Suresha, S., Punith, V., & Veeraragavan, A. (2011). Investigación de laboratorio de mezclas de fricción de grado abierto que contienen polímeros y fibras de celulosa. *Ascelibrary*.
- Bustos, H., Calderón, J., Rodríguez, M., & Sosa, P. (2018). Fundamentos micro y macroscópicos de la modificación del asfalto convencional con polímeros. *Scielo*.
- Castro, W., Rondón, H., & Barrero, J. (2015). Evaluación de las propiedades reológicas y térmicas de un asfalto convencional y uno modificado con un desecho de PEB. *Scielo*.
- Chuanqian, L., Derriche, Z., Ghorbel, E., & Nouali, M. (2019). Bolsa de plástico de residuos de betún modificado una posible solución a los pavimentos de carretera argelinos. *Taylor&Francis*.

- Cordoba, J., Rondón, H., & Yung, Y. (2016). Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR). *Scielo*.
- Echeona, G., Porras, L., Reyes, F., & Rondón, H. (2011). Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. *Redalyc*.
- Garg, R., & Kamur, P. (2009). Reología de los residuos de betún modificado con fibras plásticas. *SciencesEngineeringMedicine*.
- Genderson, E. (2016). *Aplicación de la metodología para la modificación de asfaltos convencionales mediante polímeros en el pavimento de la carretera Pilcomayo - Chupaca*. Universidad Peruana los Andes. Perú: Huancayo.
- Hernández, G. (2011). Caracterización Morfológica de asfalto modificado con diferentes copolímeros a altas concentraciones. *Eprints*.
- Jaramillo, G., & Vila, R. (2018). Incidencia del empleo de polímeros como modificadores del asfalto. *Scielo*.
- Machado, A., Pais, J., Peralta, J., Pereira, A., Silva, H., & Sousa, J. (2014). Cambios en el caucho debido a su interacción con el betún al producir caucho asfáltico. *Taylor&Francis*.
- Ortiz, B. (2017). *Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Ciudad de Guatemala.