

INFORMACIÓN GENERAL

Por favor conserve en todo momento el formato de mayúsculas y minúsculas siguiendo las normas gramaticales. No escriba algo únicamente en mayúsculas a menos que sea necesario. No deje espacios en blanco, si algún campo no puede llenarlo por favor escriba "No aplica".

Fecha de presentación:

Día

Mes

Año

Título del producto:

Revisión sistemática de los tipos de agregados y mezclas asfálticas más empleados para pavimentos flexibles.

Información de los docentes y estudiantes asociados al desarrollo del producto:

Por favor copie y pegue el recuadro con la información las veces que sea necesario para completar la información de todos los docentes y estudiantes involucrados.

Jóvenes investigadores y estudiantes

Nombre completo			Ivan Fernando Bautista Macias			
Rol (seleccione uno)		Joven investigador		Estudiante semillero	x	Semestre
Facultad o Departamento Académico			Facultad de Ingeniería Civil.			
Link del CvLAC actualizado			https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/EnReconocimiento/all.do			
Registro ORCID (orcid.org)			https://orcid.org/0000-0002-4911-4733			
Nombre normalizado en google académico			https://scholar.google.es/citations?view_op=list_works&hl=es&user=7N40LcQAAAAJ			
Correo electrónico institucional y personal			ivan.bautista@usantoto.edu.co			
C.C. #	1049634400	Teléfono	3142482145			

ACEPTACIÓN DE CONDICIONES Y AVAL DEL WORKING PAPERS

Los abajo firmantes (totalidad de autores del producto) manifiestan que todos los datos acá consignados son verídicos; todas las personas involucradas han sido notificadas sobre su participación en el desarrollo del manuscrito, tienen conocimiento y están de acuerdo con todos los aspectos aquí presentados.

En común acuerdo se garantiza el respeto por la autoría de los productos de los estudiantes, garantizando justicia en la autoría y propiedad intelectual según el trabajo de los mismos. Por último, otorgamos autorización para el tratamiento de datos personales¹

Firma:	Firma:
Nombre:	Nombre: Ivan Fernando bautista Macias

Facultad:	Facultad: Ingeniería civil
Docente Investigador principal	Autor

DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL CONTENIDO PARA EL WORKING PAPERS

A continuación, se debe realizar una descripción básica del producto desarrollado. No deje espacios en blanco, si algún campo no puede llenarlo por favor escriba “No aplica”. Norma de citación APA 7ma. Edición.

Título del producto
Revisión sistemática de los tipos de agregados y mezclas asfálticas más empleados para pavimentos flexibles
Resumen (no mayor a 200 palabras)
Los pavimentos flexibles a nivel nacional como internacional son uno de los casos mas estudiados en ingeniera civil, por lo que el desarrollo de vías de primero y segundo orden, fortaleciendo la economía y la evolución de un país, en consecuencia a lo anterior se planteo un estudio al tipo de materiales de la estructura de los pavimentos, como son la subrasante, sub-base, base y la mezclas de polímeros en la carpeta asfálticas.
Abstract
Flexible pavements at the national and international level are one of the most studied cases in civil engineering, so the development of first and second order roads, strengthening the economy and the evolution of a país, consequently a Study of the type of materials of the pavement structure, such as the subgrade, sub-base, base and the polymer mixtures in the asphalt layer.
Palabras Clave. (mínimo 3 máximo 5)
-Agregados -Pavimentos Flexibles -mezclas asfálticas -polietileno
Keywords. (min 3 – máx. 5)
-Aggregates -Flexible pavements -asphalt mixes -polyethylene
Introducción (mínimo 1000 palabras)
Con esta investigación de aula se pretende desde los estudiantes encontrar alternativas sostenibles a los problemas ambientales de Colombia, los cuales abordan diferentes campos de estudio (Acosta Castellanos et al., 2018). Así mismo se pretende contribuir desde la asignatura seminario de grado entre otras de la Universidad Santo Tomás a cerrar la brecha de educación ambiental que se tienen en las ingenierías en Colombia (Castellanos et al., 2020). Este trabajo es elaborado netamente por estudiantes de pregrado de ingeniería civil, bajo la asesoría de un docente quien actuó como par evaluador.

Uno de los principales factores económicos a nivel nacional como internacional, es el desarrollo y la implementación de vías de primer y segundo orden, en donde el crecimiento de cualquier ciudad está fundamentado y proyecta en el comercio, el transporte y el crecimiento socio económico que pueda generar. No obstante, los factores físicos, mecánicos y ambientales a los que son sometidos tanto la carpeta asfáltica como las subcapas se ven afectados al paso del tiempo.

Es así como múltiples investigaciones se han desarrollado, en base al análisis del comportamiento de los pavimentos flexibles a mediano y largo plazo; además de los procesos de construcción y el tipo de agregados o materiales que optimicen diversos parámetros de la infraestructura vial. Por tal razón cada uno de los procesos de construcción de la vía se deben realizar muy meticulosamente además de los diversos ensayos de laboratorio que se emplean para garantizar los requisitos mínimos que estos deben tener en condiciones normales.

Dado que la estructura de los pavimentos flexibles contiene varias capas como son la carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. El tipo de materiales empleados en la base y la subbase son de gran importancia ya que estas dos capas son la que distribuyen la carga aplicada en la subrasante e impiden la formación de surcos del pavimento bajo la carga aplicada (Bennert & Maher, 2005).

De acuerdo con (Osouli et al., 2019) afirma que las capas de base y subbase son las principales capas de carga de un sistema de pavimentos flexibles, de modo que la carga axial ejercida por los ejes de un determinado tipo de vehículo se distribuya y tenga un mayor área de disipación en la subrasante, realizando una variación de la presión en los agregados no ligados densamente graduada y compactados. de ahí que se tenga en cuenta características de los agregados como (gradación, tamaño de las partículas, humedad, textura etc....)

En consecuencia y “dado que los materiales de alta calidad se han vuelto menos accesibles y más costosos para la aplicación de carreteras” (Osouli et al., 2017). Es fundamental la inclusión de diversos materiales externos a los que se emplean habitualmente para la construcción de estas, por lo tanto. Diversos estudios e investigaciones plantean materiales que mejoran el comportamiento a la resistencia indirecta y el ensayo de CBR.

Cabe resaltar que la proporción de los agregados no habituales como (piedra caliza, escoria de acero, Carbonato de calcio y polietileno) tiene mejor desempeño en un determinado porcentaje tanto en sus propiedades físico-mecánicas y en la reducción de costos. A si mismo se han realizado varias implementaciones tanto en la carpeta asfáltica como en los aditivos bituminosos puesto que los análisis de las investigaciones realizadas, han demostrado cuantitativamente un mayor porcentaje a los parámetros base.

En donde las mezclas asfálticas o bituminosas no presenta derivados de ningún tipo de material haciendo que presente procesos de fatiga y desgaste en el grosor de la carpeta asfáltica. Contrario a los procesos y diseño y metodología de adición de materiales inorgánicos y químicos los cuales presentan mayor grado de mejoramiento.

Tal como afirma (Vasudevan et al., 2012) en donde la cohesión, los valores de estabilidad y deformabilidad y su capacidad de carga en el área de la carretera. Aumentaron más de los datos base que se tenían; al emplear diferentes porcentajes tanto de polímeros como en el porcentaje de (PCA) polvo de piedra agregado al betún o mezcla bituminosa.

Estos procesos de implementación de polímeros de caucho tienen múltiples fines tanto en el área de la ingeniería de infraestructura vial – como en el desarrollo del medio ambiente ya que “El reciclaje de materiales modificados con caucho granulado ha sido un área de interés desde que el modificador de caucho granulado se utilizó por primera vez en materiales de pavimentación asfáltica hace más de 40 años en Estados Unidos”(Fontes et al., 2010). En la aplicación de los porcentajes de polímeros (PET) en mezclas de pavimentos flexibles desde el punto de vista de (Baghaee Moghaddam et al., 2015) se debe tener en cuenta la variación de la temperatura ya que esta tiene mayor impacto en la rigidez de la mezcla, y la cantidad de tensión que puede llegar a soportar sin que haya una deformación permanente.

De la misma manera el estudio del tipo de adición de compuestos químicos en las mezclas bituminosas como betún es uno de los procesos mas importantes, ya que este previene el daño por humedad la cual es uno de los principales daños que genera fisuras infiltración, absorción y el aumento de nivel freático (MR Kakar & Hamzah, 2015). Por tal razón “una buena adherencia a la película bituminosa sobre la superficie agregada es importante para un pavimento bituminoso duradero. El agotamiento de la película bituminosa de la superficie del agregado hidrófilo debido a la presencia de agua se denomina decapado es así como el asfalto presenta fallas como surcos, depresiones , ondulaciones y friegas”(Md Naquib & Praveen, 2020, p1).

Cada uno de los aspectos mencionados que conforma la infraestructura vial, es de gran importancia al tipo de investigación estadística que se desarrolló, en función de diversos artículos científicos a nivel internacional, los cuales están basados y enfocados al tipo de agregados modificados más empleados en la construcción y la elaboración de los pavimentos flexibles. Así mismo como ya se mencionó en los párrafos anteriores el estudio a su vez esta enfocado en la implementación de polímeros en mezclas de pavimento asfáltico y en cantidad de porcentaje se alcanza su máximo desempeño.

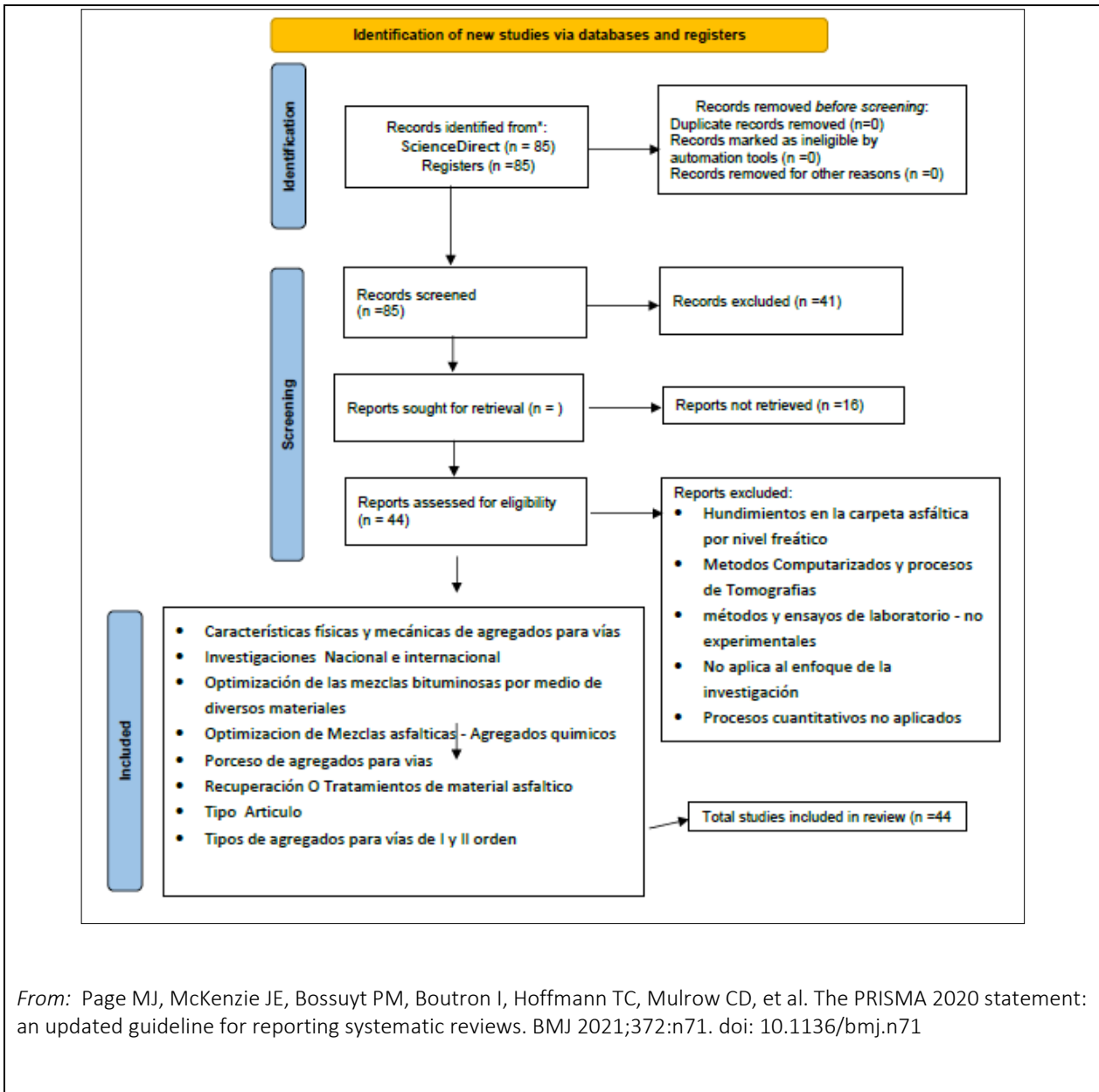
Metodología

- La investigación se realizó mediante una revisión sistemática de artículos de investigación empleando el método de PICOC y basándonos en modelos PRISMA para SLR, la metodología y procedimiento se desarrollo en una serie de preguntas que se enfatizan en las materias de agregado y asfalto que optimicen y mejoren el rendimiento básico permitido en la infraestructura de los pavimentos flexibles, en relación a lo anterior se plantearon las siguientes preguntas:
 - ¿Localización de Estudio? (Q1)
 - ¿Qué variables mecánicas de los agregados se han tenido en cuenta para el desarrollo de la infraestructura de pavimentos flexibles ? (Q2)
 - ¿ la implementación de materiales, como polímeros en pavimentos flexibles optimizan la elasticidad y recuperación de la vía ? (Q3)
 - ¿ Que compuestos químicos o agregados, tiene los aditivos bituminosos o aglutinantes para el mejoramientos de las mezclas asfálticas ? (Q4)
 - ¿ Que porcentaje de las mezclas asfálticas y compuestos de polímeros, Optimiza las características de los pavimentos flexibles? (Q5)
 - ¿ Que metodologías o pruebas de laboratorio se emplean para el diseño de mezclas de pavimentos flexibles ? (Q6)
 - ¿ Además de mezclas con polímeros en pavimentos flexibles, que tipo de derivados de conglomerantes se emplean en la reconstrucciones de vías ? (Q7)
 - ¿ para reducir los factores económicos en la construcción de las capas de pavimentos o la carpeta asfáltica que tipos de materiales se han utilizado ? (Q8)
 - ¿Cuál es el rango de temperatura para la preparación de la mezcla de asfalto de los agregados y aglutinantes para la carpeta asfáltica de pavimento flexible? (Q9)
 - ¿En las investigaciones realizadas que tipo de betún en porcentaje de dureza y consistencia asfáltica se empleó para el desarrollo de las metodologías de investigación.? (Q10)

- ¿ Que agregados o materiales se han empleado para el mejoramiento de la resistencia de la base y la sub-base en la construcción de vías ? (Q11)

Sobre la base de las preguntas anteriores se planteó el PICOC de la siguiente manera **Population:** Artículos de investigación en relación a los tipos de pavimentos flexibles desde el año 2000-2020 **Intervention:** Datos de las investigaciones, Tipo de agregados, ingeniería, mezclas asfálticas, polímeros plásticos. **Comparison:** Datos, Ensayos de laboratorio , Mezclas frías, Mezclas calientes, Estructura de los agregados. **Outcome:** Investigación, Metodología, Comparación **Context:** Base de datos - Procesos de ingeniería de pavimentos a nivel nacional e internacional.

En la investigación planteada para realizar el (SRL). Fue la base de datos ScienceDirect, debido a calidad de los temas de investigación se tomó como fuente primaria en relación a la revisión sistemática de diversos artículos y el grado de investigación, para filtración de los artículos enfocada las preguntas de investigación se empleó las siguientes palabras claves: aggregates, asphalt mixes, asphalt mixes, flexibility index, pavement. Con las que la búsqueda arrojó no mas de 15 artículos por lo que no se le podía dar una buena estadística a las preguntas de investigación, por lo que se cambiaron las palabras de búsquedas por: flexible pavement, aggregates. Arrojando una cantidad de 85 artículos enfocado solo a la ingeniería y en un rango de tiempo desde el año 2000 a 2020, ya fue el periodo donde más se realizaron investigaciones en función de mezclas y agregados sub productos o materiales distintos a los que se venían empleando anteriormente. Por lo tanto la ecuación de búsqueda fue “*Año: 2000-2020 Title, abstract, keywords: flexible pavement, aggregates*” la búsqueda se limitó aun filtrado mas conciso y coherente dentro del resumen, el título y las palabras claves.



Preguntas de Investigacion.	Intems de Criterio.
Localización de Estudios	- Internacional. -Nacional
¿Qué variables mecánicas de los agregados se han tenido en cuenta para el desarrollo de la infra estructura de pavimentos flexibles ?	Agregados Finos. - Agregados Gruesos. - Contenidos de finos. - Densidad. - Diámetro del agregado -Humedad retenida. - porosidad. -Textura de las partículas
la implementación de materiales, como polímeros en pavimentos flexibles optimizan la elasticidad y recuperación de la vía ?	-No. -No aplica. -Si.
¿ Que compuestos químicos o agregados, tiene los aditivos bituminosos o aglutinantes para el mejoramientos de las mezclas asfálticas ?	-Basalto. - Caliza. - Carbonato de calcio. - Escoria del acero. - piedra caliza. - polímeros de tereftalato polietileno. -Polvo de piedra
¿ Que porcentaje de las mezclas asfálticas y compuestos de polímeros, Optimiza las características de los pavimentos flexibles?	- 10 / 90. - 20 / 80. - 30 / 70. - 40 / 60. - 50 / 50. - No aplica
¿ Que metodologías o pruebas de laboratorio se emplean para el diseño de mezclas de pavimentos flexibles ?	-Fluencia dinámica. - Método de Marshall. - Metodo superpave (SPM). - Modelo de distribución de Weibull. - Pruebas de ebullición Texas. -Resistencia a la tracción Indirecta
¿ Además de mezclas con polímeros en pavimentos flexibles, que tipo de derivados de conglomerantes se emplean en la reconstrucciones de vías ?	-Carpeta asfáltica (Ras). - Concreto Reciclado. - Hormigo Reciclado. - No aplica
¿ para reducir los factores económicos en la construcción de las capas de pavimentos o la carpeta asfáltica que tipos de materiales se han utilizado ?	-Cemento Portland. - Cenizas de material orgánico. - No aplica. - Partículas de caucho
¿Cuál es el rango de temperatura para la preparación de la mezcla de asfalto de los agregados y aglutinantes para la carpeta asfáltica de pavimento flexible?	100° - 129° / 130° - 159° / 160° - 189° / 190° - 220° / No aplica/
¿En las investigaciones realizadas que tipo de betún en porcentaje de dureza y consistencia asfáltica se empleó para el desarrollo de las metodologías de investigación. ?	120 - 150. /200 - 300. / 60 - 70. / 80 - 100
¿ Que agregados o materiales se han empleado para el mejoramiento de la resistencia de la base y la sub-base en la construcción de vías ?	-Geopolímeros, - no aplica, - piedra caliza

Tabla1. Preguntas y criterios de Evaluación

Resultados

En el desarrollo y la investigación de cada uno los artículos seleccionados se obtuvo un porcentaje del 100% en los países internacionales donde se aplicó el desarrollo y procesos de investigación a las siguientes preguntas del área enfocada a la investigación sistemática de pavimentos flexibles tanto en la carpeta asfáltica como al tipo de infraestructura vial.

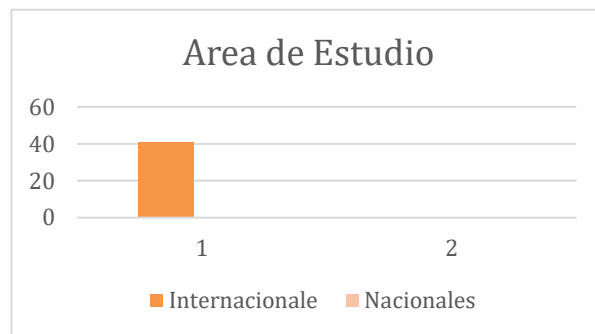


Tabla 2. Planteamiento de la investigación a nivel internacional como nacional.

El Desarrollo de la infraestructura vial y el tipo de agregado en pavimento flexible

Uno de las principales características como se puede observar en la tabla 3. Para la construcción de la base y la subbase de pavimentos flexibles, es la caracterización del tipo de material y sus propiedades. las que van a tener mayor grado de disipación de cargar en la infraestructura. Como se puede analizar en la gráfica las propiedades más empleados son: los agregados finos, agregaos gruesos y la densidad así lo afirman y argumentan (Hu et al., 2018), (Mo et al., 2010),(Serin et al., 2012).

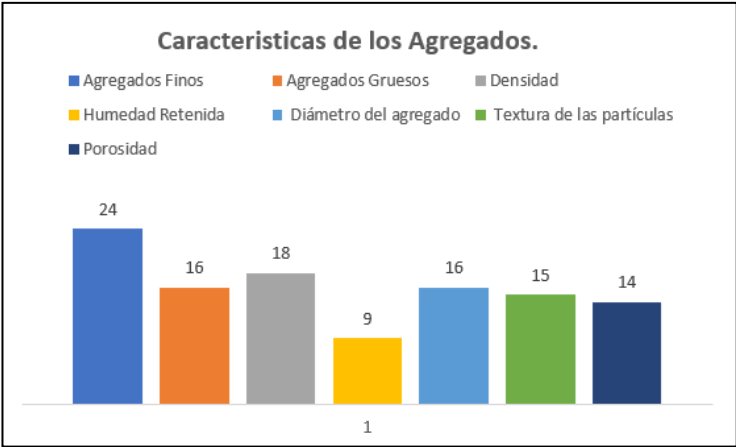


Tabla 3. Características de los agregados.

Los polímeros en los pavimentos flexibles y su optimización de la elasticidad y recuperación en la vía.

En los artículos investigados con los diferentes criterios de selección, se obtuvo un rango del 33% de las investigación que emplearon el uso de polímeros de polietileno y partículas muy finas de caucho de llanta triturada en la aplicación de la carpeta de la mezcla asfáltica, de igual forma se trató un porcentaje de agregado del material en la base y la suba base lo cual en por medio de diferentes ensayos de laboraría mejoraron y optimizaron los rendimientos a la fatiga y al hundimiento de las carpeta de la base y la sub base de la infraestructura , así lo planteo (Alsaif et al., 2019), (Rahman et al., 2017)

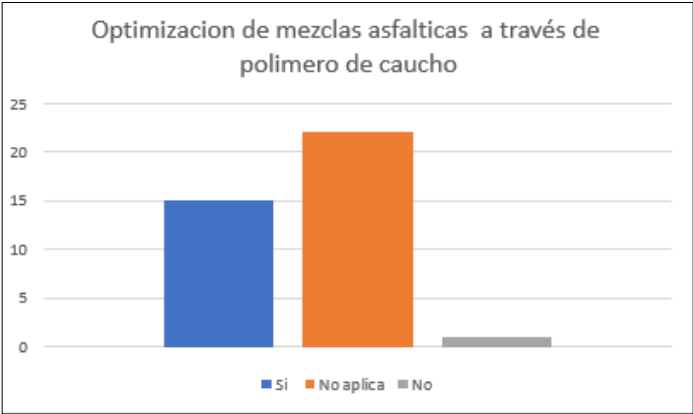


Tabla 4. Optimización de las mezclas asfálticas a través de polímeros de caucho

Compuestos químicos y agregados como aditivos bituminosos en mezclas asfálticas.

Según (Fallahi Abandansari & Modarres, 2017,p1) “el daño prematuro es el daño causado por la humedad también denominado decapado y se define como la perdida de la resistencia inducida por la humedad” uno de los principales problemas de los pavimentos en condición ambientales es la perdida de los aditivos modificadores del betún empleado en el recubrimiento de la capa base de superficie asfáltica como lo afirma (Osouli et al., 2017)

Por consiguiente y como se observa en la grafica uno de los materiales que tiene mas alta tendencia den los datos analizados son la piedra de caliza de (característica hidrófilos) y la agregación de polímeros de polietileno los cuales optimizas los valores de resistencia al proceso de descapote y disminuye la presencia de agua al contenido con el betún asfaltico. Tal como expresa (Fallahi Abandansari & Modarres, 2017)

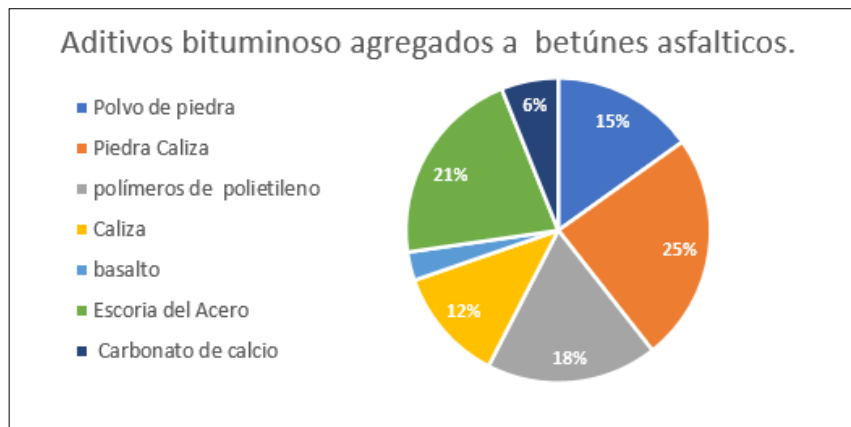


Tabla 5. Aditivos bituminosos agregados a betunes asfalticos.

Betunes asfalticos empleados en el porcentaje de mezclas de pavimentos flexibles.

Como se establece en el diagrama de la tabla 6 del análisis estadístico horizontal, gran parte de las investigaciones aceptadas no están enfocadas al tipo de betún asfaltico genérico si no al contario están basadas en la agregación de materiales químicos y agregados que disminuya el factor económico y que pueda compensar las desventajas de los diferentes betunes, en diferentes condiciones ambientales. Paralelo a esto se enfatiza en el betún, con un grado de penetración de cohesión e infiltración de 30/70 optimo en cualquier condición de temperatura y medio ambiente como lo expresa (Vamegh et al., 2020) . La mejora de las propiedades de los componentes de las mezclas asfálticas puede minimizar las fallas de los pavimentos de las carreteras. En tal contexto, la modificación del aglutinante con polímeros se conoce como un método eficaz que mejora la resistencia de las mezclas

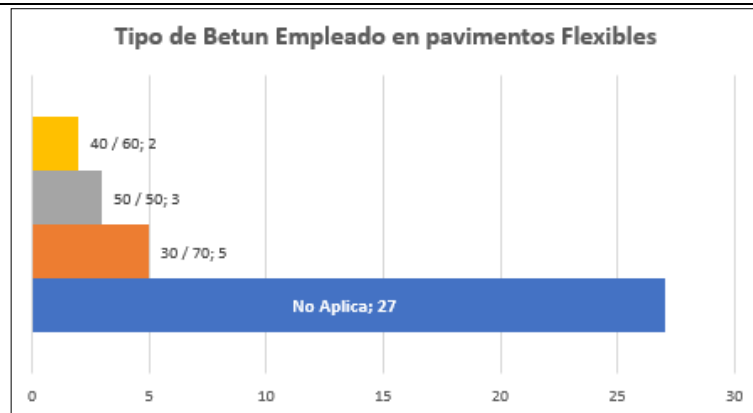


Tabla 6. Tipos de betún Empleado en pavimentos flexibles

metodologías o pruebas de laboratorio que se emplean para el diseño de mezclas de pavimentos flexibles.

Los ensayos y procesos de laboratorio aplicados para cada uno de los tubos de ensayos de mezclas asfálticas están basados en el tipo de fatiga y el grado de porcentaje optimo del asfalto que se debe tener para optimizar fallas por fatiga y tipos de afloramientos de surcos a mediano tiempo. Desde ese punto de vista (Koçkal & Köfteci, 2016) observo que la estabilidad de Marshall de las muestras de asfalto aumentaba al agregar con el contenido de fibras en un determinado porcentaje. La grafica muestra, diferentes tipos de ensayos de laboratorio los cuales están enfocados para obtener valores como la humedad, la cohesión entre las partículas y el la resistencias a cargas indirectas así como lo plantea (Sukontasukkul & Chaikaew, 2006)

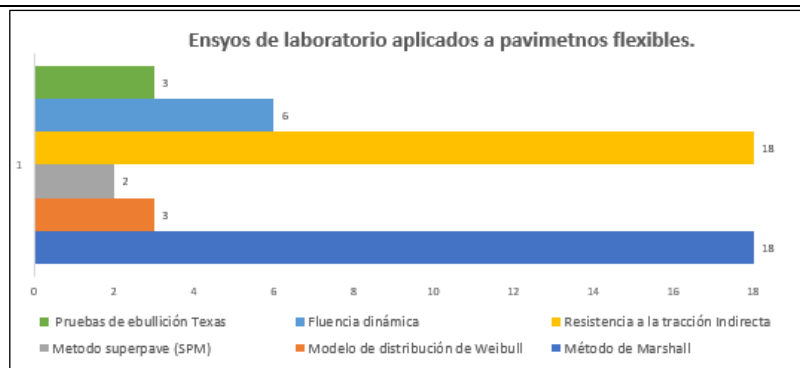


Tabla 7. Ensayos de laboratorio aplicados a pavimentos flexibles.

Materiales de la carpeta asfáltica reutilizados.

Los materiales de la carpeta asfáltica como el hormigo, el concreto y el pavimento flexible. Se han empleado en los últimos años como una porción del agregado que se ha aplica en las capas de base y subbase las cuales optimizan los agregados debido a su estructura y compactación rígida así se empleó en la investigación de (Saha & Mandal, 2017) el cual desarrollo diferentes probetas de con cierta cantidad de porcentaje reutilizado de las casetas asfálticas (Ras). Obteniendo mejores desempeños en el tipo de la capacidad de carga y en sayos del CBR. De igual forma se han utilizado hormigón y concreto triturado en función de mejorar, reducir y emplear material de alta calidad.

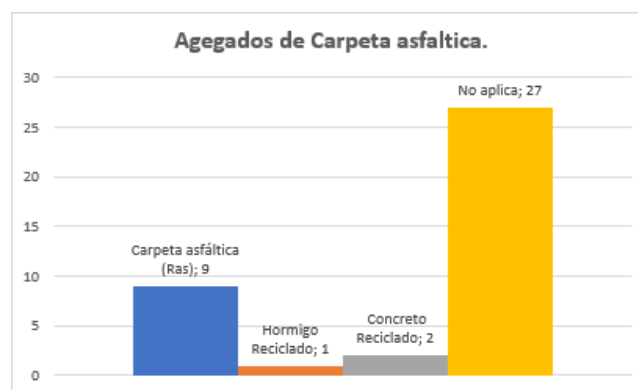


Tabla 8. Agregados de carpeta asfáltica.

Factores económicos en la construcción de las capas de pavimentos base y subbase.

En la grafica se puede observar los materiales mas usando a la hora de sustituir un porcentaje de agregado básico en las capas de base y subbase los cuales se han optimizado por medio de diversos estudios e investigaciones como se ha mencionando en los anteriores datos de análisis las partículas de caucho dan un mayor grado de estabilidad y reducción de la humedad dentro de las capas

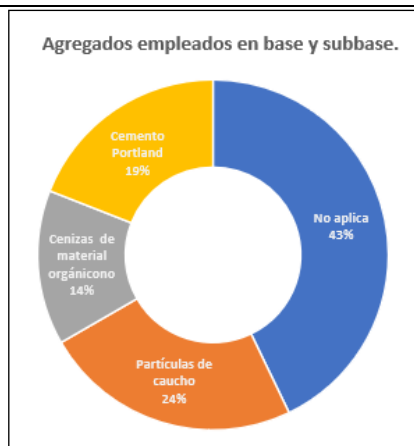


Tabla 9. Agregados empleados en base y subbase

temperatura para la preparación de la mezcla de asfalto de los agregados y aglutinantes para la carpeta asfáltica.

Una de las variables mas importantes en la mezcla del betún y el asfalto es la temperatura puesto que esto hace que la mezcla se consolide de forma homogénea en su totalidad de la carpeta asfáltica previniendo micro grieta por fatiga. ya una forma principal de daño estructural en los pavimentos flexibles. Bajo la acción de repetidas cargas vehiculares, se produce gradualmente el deterioro de los materiales de hormigón asfáltico en los pavimentos provocado por a acumulación y crecimiento de las micro y macro fisuras según (Mohammadinia et al., 2019). Como se puede observar en el diagrama el dato moda o que mas sobresale es el de 160° a 180° que es el punto en el la mezcla asfáltica alcanza su máximo desempeño como plantea (Vasudevan et al., 2012)

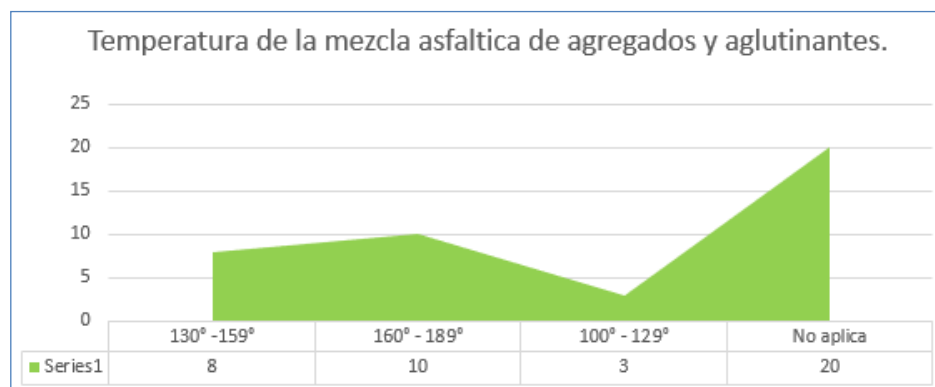
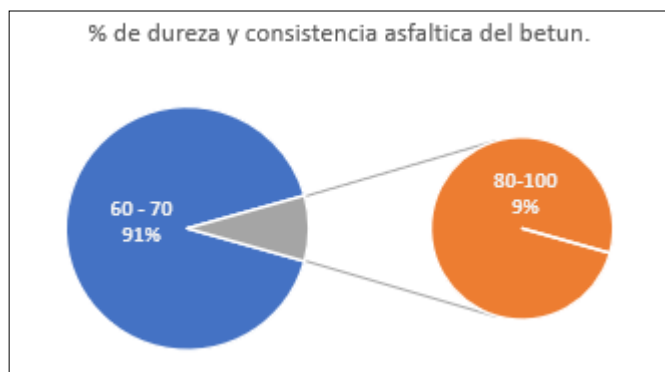


Tabla 10. Temperatura de la mezcla asfáltica de agregados y aglutinantes

Tipo de betún en porcentaje de dureza y consistencia asfáltica empleada en el desarrollo de la metodología de investigación.

Con base en (Pasetto & Baldo, 2011) El desarrollo y la obtención de betún optimo para las mezclas en correspondencia con la densidad, la porosidad y la estabilidad máxima se obtiene a partir del estudio de la curva de clasificación con referencia al diseño de envoltentes de la clasificación para mezclas bituminosas y granulométricas, es así como en los 45 artículos de investigación que cumplieron con el criterio de aceptación se obtiene que la dureza y consistencia asfáltica tiene mayor demanda debido al tipo de cargas para pavimentos del par vías de orden 1. De igual manera (Çetin, 2014) Se basa en el mismo análisis el cual emplea cada uno los procedimientos para conseguir su máximo desempeño



Conclusiones/Discusión

Para el desarrollo de la infraestructura vial para el tipo de agregados (Hu et al., 2018), (Mo et al., 2010), (Serin et al., 2012) plantean que el tipo de propiedades con las que se elaboraran las carpetas de material asfáltico como mínimo debe tener mayor cantidad de agregados finos y su densidad como la humedad debe estar en proporciones semejantes, con lo que no concuerda mucho (Baghaee Moghaddam et al., 2015) ya que el plantea como características fundamental la densidad de y la textura de las partículas. Aunque el valor de estas dos variables no se encuentra tan desestimado su gran un grande porcentaje de investigadores establecen un mejor comportamiento los agregados finos.

Dentro del análisis expuesto en pavimentos flexibles con polímeros de polietileno o material pulverizado de llantas de caucho se pudo obtener datos cuantitativos de la implementación varias investigaciones que por medio de diferentes metodologías y variación de los porcentajes de la muestra se obtuvo un mayor grado de optimización en tanto en los procesos de fatiga y hundimiento de las carpetas de la base y las subbase (Alsaif et al., 2019), (Rahman et al., 2017) Así mismo (Krishnamoorthy et al., 2016) expone sus resultados con un porcentaje de dos ensayos con y sin partículas de cacho mostrando la variación que este polímero puede realizar en un determinado porcentaje de la carpeta asfáltica. Además de reutilizar y disminuir la contaminación ambiental por el exceso polímeros en la tierra.

Referencias Bibliográficas (Norma APA 7ma Edición)

- Acosta Castellanos, P. M., Guerrero Sierra, H., & Vega, M. E. (2018). *Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: una mirada desde Colombia* (2018th ed.). Ediciones USTA. <http://hdl.handle.net/11634/22658>
- Castellanos, P. M. A., Queiruga-Dios, A., Encinas, A. H., & Acosta, L. C. (2020). Environmental Education in Environmental Engineering: Analysis of the Situation in Colombia and Latin America. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12187239>
- Alsaif, A., Garcia, R., Figueiredo, F. P., Neocleous, K., Christofe, A., Guadagnini, M., & Pilakoutas, K. (2019). Fatigue performance of flexible steel fibre reinforced rubberised concrete pavements. *Engineering Structures*, 193(May), 170–183. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.040>
- Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., & Karim, M. R. (2015). Stiffness modulus of polyethylene terephthalate modified asphalt mixture: A statistical analysis of the laboratory testing results. *Materials and Design*, 68, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.11.044>
- Bennert, T., & Maher, A. (2005). El desarrollo de una especificación de desempeño para material de base y subbase granular. *Nº FHWA-NJ-2005, 0,03*.
- Çetin, S. (2014). Evaluation on the usability of structure steel fiber-reinforced bituminous hot mixtures. *Construction and Building Materials*, 64, 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.093>
- Fallahi Abandansari, H., & Modarres, A. (2017). Investigating effects of using nanomaterial on moisture susceptibility of hot-mix asphalt using mechanical and thermodynamic methods. *Construction and Building Materials*, 131, 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.052>
- Fontes, L. P. T. L., Trichês, G., Pais, J. C., & Pereira, P. A. A. (2010). Evaluating permanent deformation in asphalt rubber mixtures. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1193–1200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.021>
- Hu, W., Nie, Q., Huang, B., Su, A., Du, Y., Shu, X., & He, Q. (2018). Mechanical property and microstructure characteristics of geopolymer stabilized aggregate base. *Construction and Building Materials*, 191, 1120–1127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.081>
- Koçkal, N. U., & Köfteci, S. (2016). Aggressive Environmental Effect on Polypropylene Fibre Reinforced Hot Mix Asphalt. *Procedia Engineering*, 161, 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.834>
- Krishnamoorthy, R. R., David, T. K., Mastor, N. A. Bin, & Nadarasa, K. (2016). Repair of deteriorating pavement using recycle concrete materials. *Procedia Engineering*, 142, 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.064>
- Md Naquib, A., & Praveen, A. (2020). Effectiveness of anti stripping agents on moisture susceptibility of bituminous mix. *Construction and Building Materials*, 264, 15.

- Mo, L. T., Huurman, M., Woldekidan, M. F., Wu, S. P., & Molenaar, A. A. A. (2010). Investigation into material optimization and development for improved ravelling resistant porous asphalt concrete. *Materials and Design*, 31(7), 3194–3206.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.02.026>
- Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Phummiphan, I., Horpibulsuk, S., & Mirzababaei, M. (2019). Flexural fatigue strength of demolition aggregates stabilized with alkali-activated calcium carbide residue. *Construction and Building Materials*, 199, 115–123.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.031>
- MR Kakar, M., & Hamzah, J. (2015). Valentin, Una revisión de los daños por humedad de la mezcla de asfalto caliente y tibio e investigaciones relacionadas. *Cleaner Prod.*, 15, 39–58.
- Osouli, A., Chaulagai, R., Tutumluer, E., & Shoup, H. (2019). Strength characteristics of crushed gravel and limestone aggregates with up to 12% plastic fines evaluated for pavement base/subbase applications. *Transportation Geotechnics*, 18(October 2018), 25–38.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.10.004>
- Osouli, A., Salam, S., Tutumluer, E., & Shoup, H. (2017). Fines inclusion in a crushed limestone unbound aggregate base course material with 25.4-mm maximum particle size. *Transportation Geotechnics*, 10, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.02.001>
- Pasetto, M., & Baldo, N. (2011). Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3458–3468.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.037>
- Rahman, M. T., Hainin, M. R., & Bakar, W. A. W. A. (2017). Use of waste cooking oil, tire rubber powder and palm oil fuel ash in partial replacement of bitumen. *Construction and Building Materials*, 150, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.216>
- Saha, D. C., & Mandal, J. N. (2017). Laboratory Investigations on Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for using it as Base Course of Flexible Pavement. *Procedia Engineering*, 189(May), 434–439. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.069>
- Serin, S., Morova, N., Saltan, M., & Terzi, S. (2012). Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures. *Construction and Building Materials*, 36, 238–244.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.113>
- Sukontasukkul, P., & Chaikaew, C. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 20(7), 450–457.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.040>
- Vamegh, M., Ameri, M., & Chavoshian Naeni, S. F. (2020). Experimental investigation of effect of PP/SBR polymer blends on the moisture resistance and rutting performance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 253, 119197.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119197>
- Vasudevan, R., Ramalinga Chandra Sekar, A., Sundarakannan, B., & Velkennedy, R. (2012). A technique to dispose waste plastics in an ecofriendly way - Application in construction of

flexible pavements. *Construction and Building Materials*, 28(1), 311–320.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.031>

- Alsaif, A., Garcia, R., Figueiredo, F. P., Neocleous, K., Christofe, A., Guadagnini, M., & Pilakoutas, K. (2019). Fatigue performance of flexible steel fibre reinforced rubberised concrete pavements. *Engineering Structures*, 193(May), 170–183.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.05.040>
- Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., & Karim, M. R. (2015). Stiffness modulus of polyethylene terephthalate modified asphalt mixture: A statistical analysis of the laboratory testing results. *Materials and Design*, 68, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.11.044>
- Bennert, T., & Maher, A. (2005). El desarrollo de una especificación de desempeño para material de base y subbase granular. *Nº FHWA-NJ-2005*, 0,03.
- Çetin, S. (2014). Evaluation on the usability of structure steel fiber-reinforced bituminous hot mixtures. *Construction and Building Materials*, 64, 414–420.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.093>
- Fallahi Abandansari, H., & Modarres, A. (2017). Investigating effects of using nanomaterial on moisture susceptibility of hot-mix asphalt using mechanical and thermodynamic methods. *Construction and Building Materials*, 131, 667–675.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.052>
- Fontes, L. P. T. L., Trichês, G., Pais, J. C., & Pereira, P. A. A. (2010). Evaluating permanent deformation in asphalt rubber mixtures. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1193–1200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.021>
- Hu, W., Nie, Q., Huang, B., Su, A., Du, Y., Shu, X., & He, Q. (2018). Mechanical property and microstructure characteristics of geopolymer stabilized aggregate base. *Construction and Building Materials*, 191, 1120–1127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.081>
- Koçkal, N. U., & Köfteci, S. (2016). Aggressive Environmental Effect on Polypropylene Fibre Reinforced Hot Mix Asphalt. *Procedia Engineering*, 161, 963–969.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.834>
- Krishnamoorthy, R. R., David, T. K., Mastor, N. A. Bin, & Nadarasa, K. (2016). Repair of deteriorating pavement using recycle concrete materials. *Procedia Engineering*, 142, 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.064>
- Md Naquib, A., & Praveen, A. (2020). Effectiveness of anti stripping agents on moisture susceptibility of bituminous mix. *Construction and Building Materials*, 264, 15.
- Mo, L. T., Huurman, M., Woldekidan, M. F., Wu, S. P., & Molenaar, A. A. A. (2010). Investigation into material optimization and development for improved ravelling resistant porous asphalt concrete. *Materials and Design*, 31(7), 3194–3206.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.02.026>
- Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Phummiphan, I., Horpibulsuk, S., & Mirzababaei, M. (2019).

- Flexural fatigue strength of demolition aggregates stabilized with alkali-activated calcium carbide residue. *Construction and Building Materials*, 199, 115–123.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.031>
- MR Kakar, M., & Hamzah, J. (2015). Valentin, Una revisión de los daños por humedad de la mezcla de asfalto caliente y tibio e investigaciones relacionadas. *Cleaner Prod.*, 15, 39–58.
- Osouli, A., Chaulagai, R., Tutumluer, E., & Shoup, H. (2019). Strength characteristics of crushed gravel and limestone aggregates with up to 12% plastic fines evaluated for pavement base/subbase applications. *Transportation Geotechnics*, 18(October 2018), 25–38.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.10.004>
- Osouli, A., Salam, S., Tutumluer, E., & Shoup, H. (2017). Fines inclusion in a crushed limestone unbound aggregate base course material with 25.4-mm maximum particle size. *Transportation Geotechnics*, 10, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.02.001>
- Pasetto, M., & Baldo, N. (2011). Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3458–3468.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.037>
- Rahman, M. T., Hainin, M. R., & Bakar, W. A. W. A. (2017). Use of waste cooking oil, tire rubber powder and palm oil fuel ash in partial replacement of bitumen. *Construction and Building Materials*, 150, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.216>
- Saha, D. C., & Mandal, J. N. (2017). Laboratory Investigations on Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for using it as Base Course of Flexible Pavement. *Procedia Engineering*, 189(May), 434–439. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.069>
- Serin, S., Morova, N., Saltan, M., & Terzi, S. (2012). Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures. *Construction and Building Materials*, 36, 238–244.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.113>
- Sukontasukkul, P., & Chaikaew, C. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 20(7), 450–457.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.040>
- Vamegh, M., Ameri, M., & Chavoshian Naeni, S. F. (2020). Experimental investigation of effect of PP/SBR polymer blends on the moisture resistance and rutting performance of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 253, 119197.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119197>
- Vasudevan, R., Ramalinga Chandra Sekar, A., Sundarakannan, B., & Velkennedy, R. (2012). A technique to dispose waste plastics in an ecofriendly way - Application in construction of flexible pavements. *Construction and Building Materials*, 28(1), 311–320.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.031>

