

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Nuevos métodos y materiales empleados en la mejora de la calidad de pavimentos, teniendo en cuenta el impacto ambiental

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Luis Miguel Guevara Abad

ASESOR

Carlos Rafael Tafur Jimenez

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>

Chiclayo, 2023

Artículo Final

ORIGINALITY REPORT

14%	12%	10%	5%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Damilola Oyejobi, Mohammed Jameel, Adekunle Adewuyi, Samuel Aina, Siva Avudaiappan, Nelson Maureira-Carsalade. "Analyzing Influence of Mix Design Constituents on Compressive Strength, Setting Times, and Workability of Geopolymer Mortar and Paste", <i>Advances in Civil Engineering</i> , 2023 Publication	2%
2	tesis.usat.edu.pe Internet Source	2%
3	Lucas Torres de Rosso, João Victor Staub de Melo. "Impact of incorporating recycled glass on the photocatalytic capacity of paving concrete blocks", <i>Construction and Building Materials</i> , 2020 Publication	2%
4	Submitted to RMIT University Student Paper	1%
5	Submitted to Cavendish Road State High School	1%

6	digitalcommons.mtu.edu Internet Source	1 %
7	Rodrigo Polo-Mendoza, Otto Mora, José Duque, Emilio Turbay et al. "Environmental and economic feasibility of implementing Perpetual Pavements (PPs) against conventional pavements: A case study of Barranquilla city, Colombia", Case Studies in Construction Materials, 2023 Publication	1 %
8	hdl.handle.net Internet Source	1 %
9	www.hindawi.com Internet Source	1 %
10	www.slideshare.net Internet Source	1 %
11	search.scielo.org Internet Source	<1 %
12	bjbas.springeropen.com Internet Source	<1 %
13	ruidera.uclm.es Internet Source	<1 %
14	teras.unimal.ac.id Internet Source	<1 %

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	7
Contenido	8
Pavimentos Perpetuos (PPs).....	8
Comparación entre asfalto modificado con caucho y polímeros, en ambiente húmedo y helado.....	8
Asfalto modificado con SBS y con microcápsula termocrómica.....	9
Bloques de concretos entrelazados.....	10
Nanotubos de carbono y fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas de hormigón	11
Conclusión.....	11
Referencias.....	12
Anexos	13

Resumen

El pavimento es un elemento que hoy en día es muy utilizado; porque ayuda al progreso, comunicación y desarrollo de las ciudades. Pero también, es un material que sufre un desgaste significativo con el pasar del tiempo, ya sea por su uso, materiales empleados, falta de mantenimiento y/o factores ambientales y los beneficios que pueden proporcionar. Por eso, en este estudio se quiere dar a conocer sobre las diferentes tecnologías que se están empleando alrededor del mundo para tratar de contrarrestar el desgaste de los pavimentos, lo que podría significar una vida útil mayor. Así mismo, se mostrará algunos materiales que se utilizan como agregados, en los diferentes tipos de pavimentos que existen. Concluyendo de este estudio que, tanto los materiales empleados como las tecnologías utilizadas, hacen mejorar las propiedades mecánicas del pavimento, prolongando la vida útil de la estructura y por otra parte; también ayudan considerablemente con el medio ambiente, ya que se trabaja con materiales que tardan millones de años en descomponerse.

Palabras clave: Pavimento, vida útil, propiedades mecánicas

Abstract

Pavement is an element that is widely used nowadays because it contributes to the progress, communication, and development of cities. However, it is also a material that undergoes significant wear and tear over time due to usage, materials used, lack of maintenance, environmental factors, and the benefits it can provide. That is why this study aims to present the different technologies being employed worldwide to counteract pavement deterioration, which could result in a longer lifespan. Additionally, it will showcase some materials used as aggregates in different types of pavements. The study concludes that both the materials used and the technologies employed enhance the mechanical properties of the pavement, thereby prolonging the structure's lifespan. Furthermore, they also contribute significantly to the environment, as they involve materials that take millions of years to decompose.

Keywords: Pavement, lifespan, mechanical properties

Introducción

El pavimento es un elemento que hoy en día es muy utilizado; porque ayuda al progreso, comunicación y desarrollo de una ciudad. Estos han significado en los últimos años, un gran avance para el mundo en general, porque facilita la comunicación entre pueblos, comunidades, ciudades y países. No obstante, uno de los grandes problemas de estos pavimentos, es su corto tiempo de vida útil y los diferentes mantenimientos que se realizan por las grietas y hoyos, de diferentes magnitudes, que se puedan formar en estos.

A lo largo de los años el pavimento ha ido evolucionando; tanto en su tecnología como en su composición de mezcla. En los años 80, los caminos de tablonos que se empezó a utilizar en Rusia, en las próximas décadas, se llegó a extender en Canadá y Estados Unidos y siendo utilizado por primera vez en París en la década de 1850, el gran problema que se dependía de una materia natural y la absorción de la orina de los caballos en la madera [1].

A principios del siglo XIX, líderes municipales trataron de mejorar las calles más transitadas por carretas jaladas a caballo, para mejorar la seguridad y el transporte, por lo que se probó distintos materiales, empezando a colocar capas de grava por su disponibilidad y sobre todo el coste. No es hasta el año 1920 que se empezó a utilizar el asfalto a base de petróleo, siendo esto un gran avance en la formación de pavimentos [1].

Respecto al avance tecnológico de la estructura de los pavimentos de las carreteras de China, se divide en 5 etapas, la construcción de caminos, caminos existentes; carreteras públicas y de correos, una capa de piedra, grava o ladrillo; caminos transitables, piedras trituradas, estabilizantes hidráulicos y materiales asfálticos; pavimentos semirrígidos, piedras, sub- base, estabilizantes hidráulicos y materiales asfálticos y la última etapa es el mejoramiento de la estructura del pavimento semirrígido (ANEXO 1) [2].

Hasta el día de hoy se sigue investigando como mejorar las propiedades físico-mecánicas del pavimento, mejorar las capas de su estructura y prevenir en lo mayor posible el agrietamiento de estos, de una forma económica y sustentable ambientalmente.

Debido a esto, se ***dará a conocer sobre las nuevas metodologías empleadas en la mejora del pavimento.*** Por ello, se habló sobre los diferentes métodos de tecnología aplicados en los pavimentos, investigó sobre materiales que se incorporan en la mezcla y/o capas del pavimento y se indicó los beneficios que proporcionan las nuevas metodologías y materiales que se aplican en el pavimento.

Contenido

Pavimentos Perpetuos (PPs)

En Colombia, Barranquilla, se ha propuesto como una gran alternativa que se implementen los Pavimentos Perpetuos (PPs). Debido a que, tienen una vida útil mayor a comparación de los Pavimentos Flexibles Convencionales (CFPs) Y Pavimentos Rígidos Convencionales (CRPs), tanto como flexibles como rígidos. Por esto, se realizó una Evaluación del Ciclo de vida por la metodología de Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCCA). Por lo cual, se realizó una comparación del impacto ambiental y rentabilidad como se muestran en la “Figura 2” y “Figura 3”. Pudiendo observar que un PP ocasiona menos daño ambiental y genera mayor rentabilidad económica respecto de un CFP Y CRP [3].

Las características principales de los PP se basan en que la *deformación por tracción* horizontal en la parte inferior de las capas de asfalto sea $\leq 70\mu\text{f}$, mitigando el agrietamiento por fatiga de abajo hacia arriba y la *tensión de compresión vertical* en la parte superior de la capa de subrasante $\leq 200\mu\text{f}$, restringiendo los fenómenos de ahuellamiento. Para cumplir con estos requisitos, el PP se compone de una capa superficial la cual debe ser una Mezcla Asfáltica en Caliente (HMA) de muy buena

calidad, una capa intermedia (se propone tratar de reemplazar con materiales orgánicos) que garantice la resistencia a la formación de ahuellamiento y una base granular o una estabilizada [3].

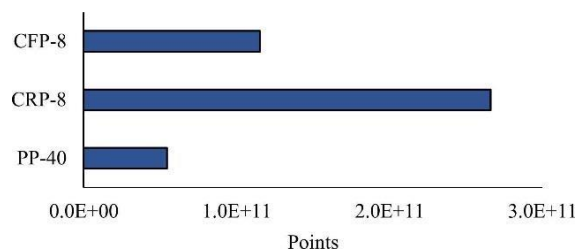


Figura 1: Resultados del proceso de ponderación Ambiental (Case Studies in Construction Materials, 2023).

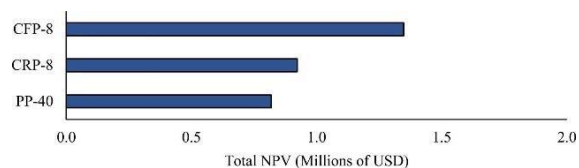


Figura 2: VAN total de las alternativas de pavimento (Case Studies in Construction Materials, 2023).

Comparación entre asfalto modificado con caucho y polímeros, en ambiente húmedo y helado

En Estado Unidos, Michigan, se ha realizado una comparación entre el pavimento de asfalto modificado con caucho para llantas molidas (GTR) y el pavimento de asfalto modificado, en un ambiente húmedo y helado. Para la evaluación de las diferentes frecuencias y temperaturas se aplicó la prueba del

módulo dinámico, usando el dispositivo de seguimiento de ruedas de Hamburgo (HWTD). Los resultados de la prueba de HWTD indica que tanto las mezclas asfálticas modificadas con CTR Y polímeros tienen una mejora considerable en la resistencia al ahuellamiento, respecto a las mezclas convencionales “Figura 4” [4].

Para la elaboración de la prueba DCT, se compactó los vacíos del aire al 7%, en los diferentes tipos de asfalto evaluados para hacer ensayos a -18% y -24%. Teniendo como resultado que los asfaltos modificados con CTR y polímeros tienen un mejor comportamiento al agrietamiento a las bajas temperaturas “Figura 5” [4].

Para la prueba del ruido se utilizo un S1.4 Tipo 2, calibrado a 1KHz y 94 Db. Realizando pruebas fuera y dentro del camión, mostrando que la mejora y la diferencia entre los diferentes tipos de pavimentos no es muy significativa “Figura 6” [4].

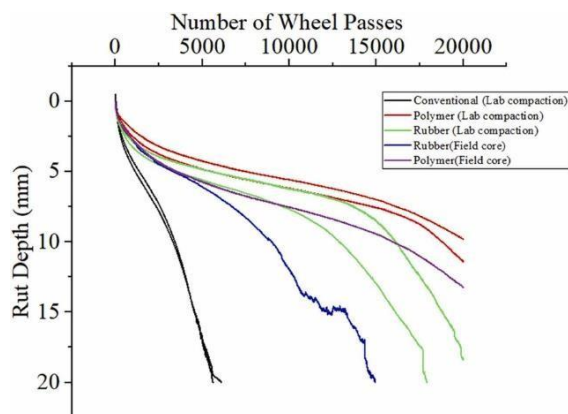


Figura 3: Resultados de la prueba HWDT de HMA (Case Studies in Construction Materials, 2023).

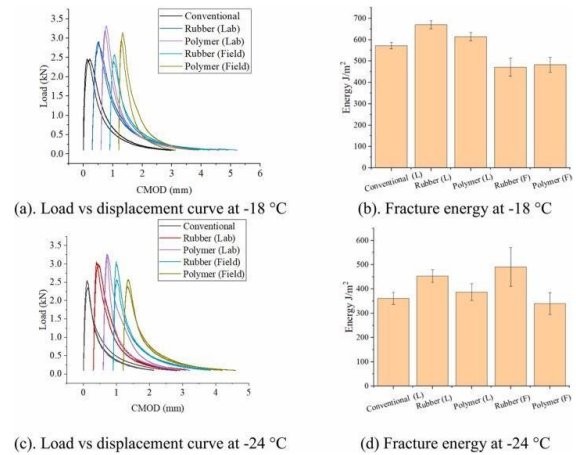


Figura 4: Resultados de la prueba DCT de HMA convencional, modificado con GTR y con polímeros (Case Studies in Construction Materials, 2023).

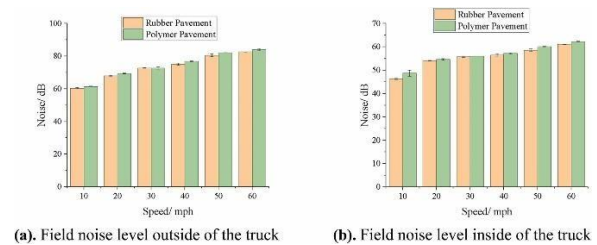


Figura 5: Resultados de la prueba de ruido de campo (Case Studies in Construction Materials, 2023).

Asfalto modificado con SBS y con microcápsula termocrómica

Como se sabe un gran problema del pavimento asfáltico es que, al existir un incremento de temperaturas, empieza a mostrar ahuellamiento y grietas, generando

además una temperatura ambiente mucho mayor, lo que genera lo que comúnmente se conoce como una isla de calor. Trayendo consigo incremento de temperaturas perjudiciales para el medio ambiente.

En esta investigación se busca comparar el Asfalto modificado con SBS (estireno-butadieno-estireno) y con microcápsulas termocrómicas frente al concreto convencional. Buscando que estas mezclas le puedan combatir con la temperatura y agrietamiento [5].

Debido a esto, la microcápsula termocrómica tiene un rol importante en el pavimento asfáltico, pues tratará de disminuir la temperatura en la capa asfáltica, así evitando los problemas ya mencionados. Para ello se realizó la prueba del craqueo, donde se puede observar que con ayuda de la microcápsula térmica mejora la resistencia al agrietamiento del ligante asfáltico base envejecido, caso contrario al asfalto con SBS “Figura 7”.

Demostrando que esta microcápsula termocrómica mejora la considerablemente la susceptibilidad al envejecimiento del ligante asfáltico base, respecto de otros asfaltos “Figura 8” [5].

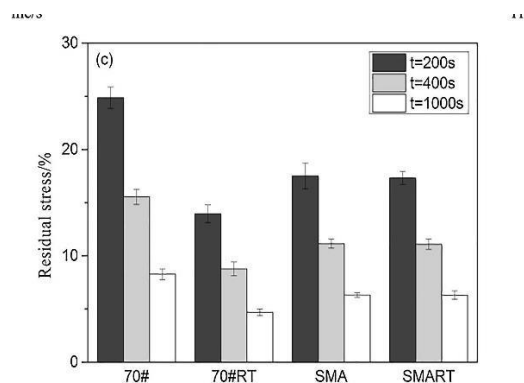


Figura 6: Resultados de las pruebas de PG para muestras envejecidas con (PAV Construction and Building Materials,2019)

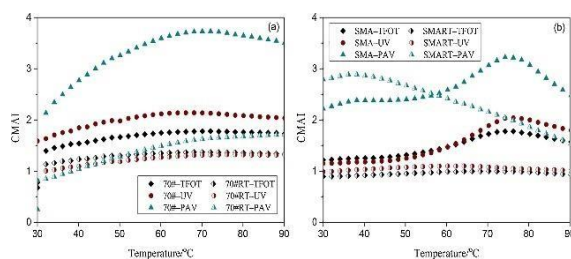


Figura 7: Efecto de la microcápsula termocrómica sobre la susceptibilidad al envejecimiento: a) Asfalto base , b) Asfalto modificado con SBS (PAV Construction and Building Materials,2019).

Bloques de concretos entrelazados

Este tipo de concreto, se diseñan principalmente pensando en el medio ambiente, ya que hoy en día se tiene demasiado en cuenta que las estructuras cumplan con ciertos estándares climáticos. Los concretos posmodernos (PMP) han sido propuestos para que se cumpla con los requisitos estructurales , de sostenibilidad y sociopsicológicos [6].

Luego de la realización de diferentes estudios, se obtuvieron resultados favorables, puestos PMP son amigables

ambientalmente, producen menos desechos, menos emisión de ruido al no utilizar maquinaria y menos emisiones CO_2 , debido a que ya no se hace uso de mezclas asfálticas. Además de presentar un diseño agradable visualmente y tener un mantenimiento rápido y económico [6].

Luego de la realización de diferentes estudios, se obtuvieron resultados favorables, puestos PMP son amigables ambientalmente, producen menos desechos, menos emisión de ruido al no utilizar maquinaria y menos emisiones CO_2

Nanotubos de carbono y fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas de hormigón

Si bien los pavimentos rígidos tienen mayor vida útil, frente a los pavimentos flexibles. Pero, todavía presentan grandes dificultades en su vida, por lo que se busca materiales que mejoren las propiedades mecánicas de los pavimentos convencionales. En esta investigación se basó en agregar (0%, 0.25%, 0.050% y 0.075%) de nanotubos de carbono (CNT) y fibras de acero (SF), buscando cual es la mejor adición óptima que mejore sus propiedades mecánicas y sea rentable económicamente. Teniendo como resultado que la cantidad adecuada de CNT aplicada en el concreto debería ser 0.050% y que la adición de CNT y SF aumenta la resistencia a la compresión, tracción y

flexión en un 22,7%, 29,3% y 70,8%; de acuerdo con la cantidad de adición respecto al pavimento rígido convencional [7].

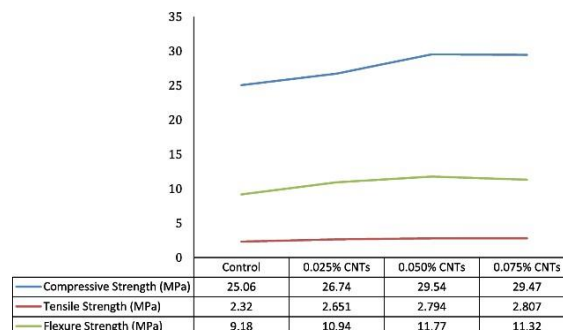


Figura 8: Comparación de resistencias respecto a las adiciones (Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 2022).

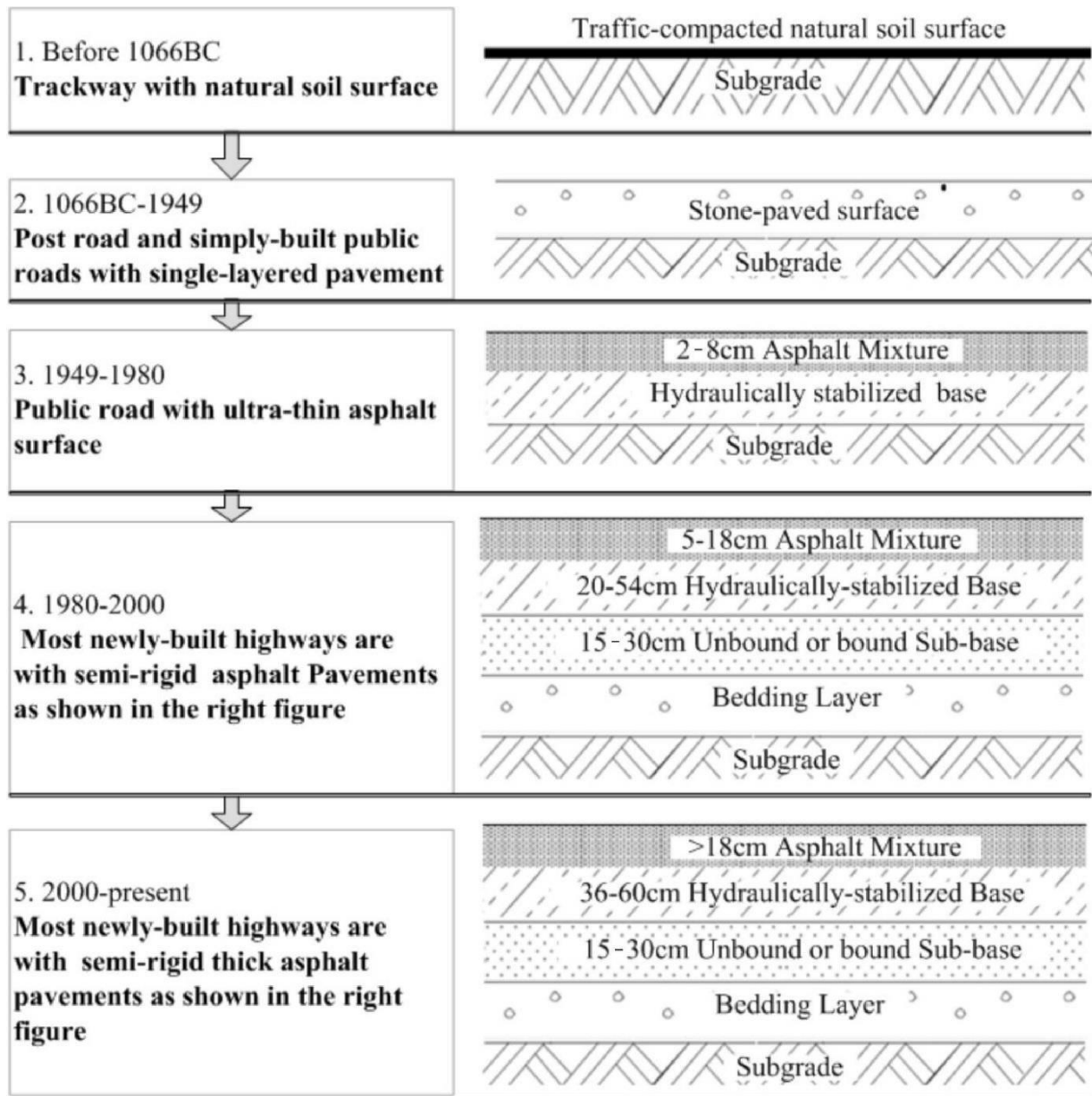
Conclusión

Con la ayuda de algunos agregados reciclables en la en la capa base, como en la carpeta asfáltica hacen mejoran la calidad mecánica de los pavimentos y a la vez se ayuda con los requerimientos que hoy en día se necesita para cumplir con los estándares ambiental de un proyecto sostenible.

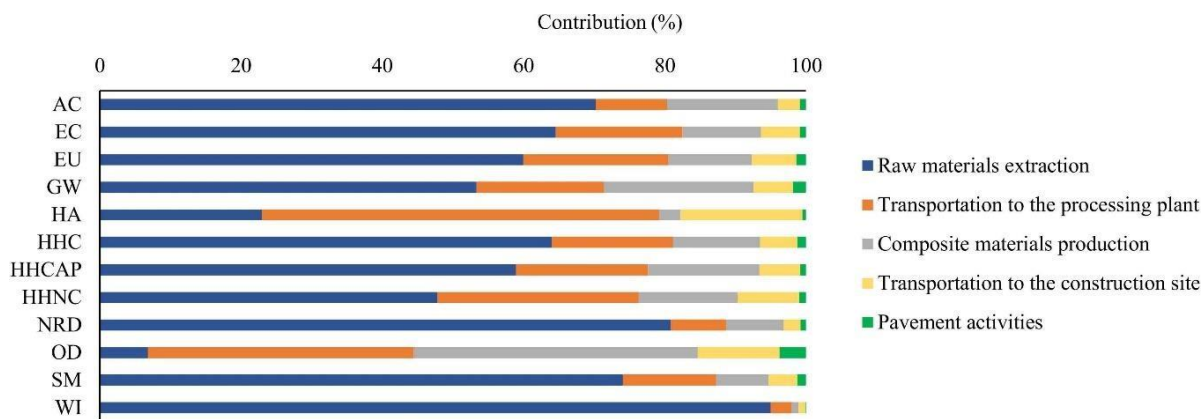
Referencias

- [1] R. B. Williams, *El manual de diseño de infraestructura de Routledge*, 2022, pp. 211-221.
- [2] L. Yu, S. Peifeng, L. Miaomiao, Y. Zhanping y M. Zhao, «Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials,» *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 7, pp. 573-599, 5 Octubre 2020.
- [3] R. Mendoza, O. Mora, J. Duque, E. Turbay, G. Martinez, L. Fuentes, O. Guerrero y S. Perez, «Environmental and economic feasibility of implementing perpetual pavements (PPs) against conventional pavements: A case study of Barranquilla city, Colombia,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, 2023.
- [4] D. Jin, K. Ampadu, D. Ge, T. y. Che, W. Harrall y Z. You, «A case study of the comparison between rubberized and polymer modified asphalt on heavy traffic pavement in wet and freeze environment,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, 2023.
- [5] P. Du, Z. Chen y H. Zhang, «Rheological and aging behaviors of base and SBS modified asphalt with thermochromic microcapsule,» *Construction and Building Materials*, pp. 1-9, 10 Marzo 2019.
- [6] A. Jamshidi, K. Kurumisawa, G. White, T. Tatsuo Nishizawa, T. Igarashi, T. Nawa y J. Mao, «State-of-the-art of interlocking concrete block pavement technology in Japan as a post-modern pavement,» *Construction and Building Materials*, vol. 200, 2019.
- [7] A. Hassan, S. Galal y S. Y. Hassan Ahmed, «Utilization of carbon nanotubes and steel fibers to improve the mechanical properties of concrete pavement,» *Beni-Suef University Journal of Basic Applied Sciences*, n° 121, 29 septiembre 2022.

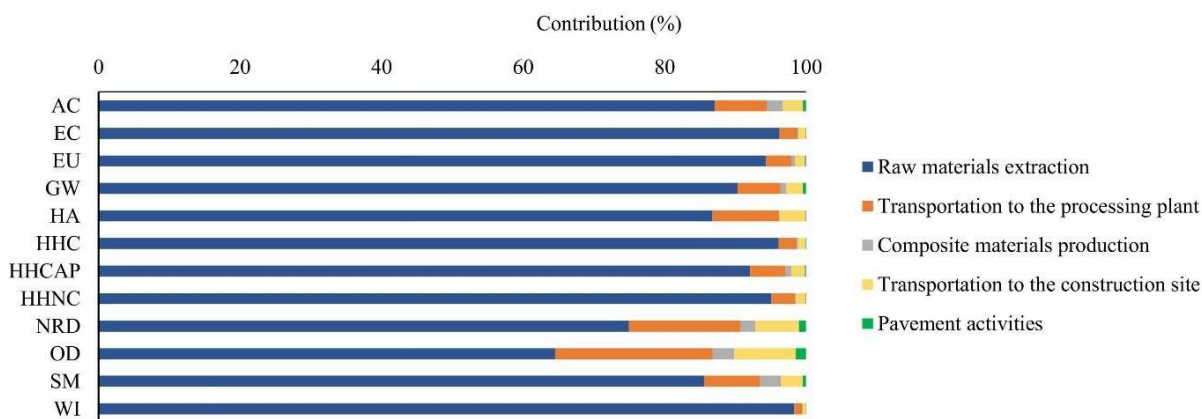
Anexos



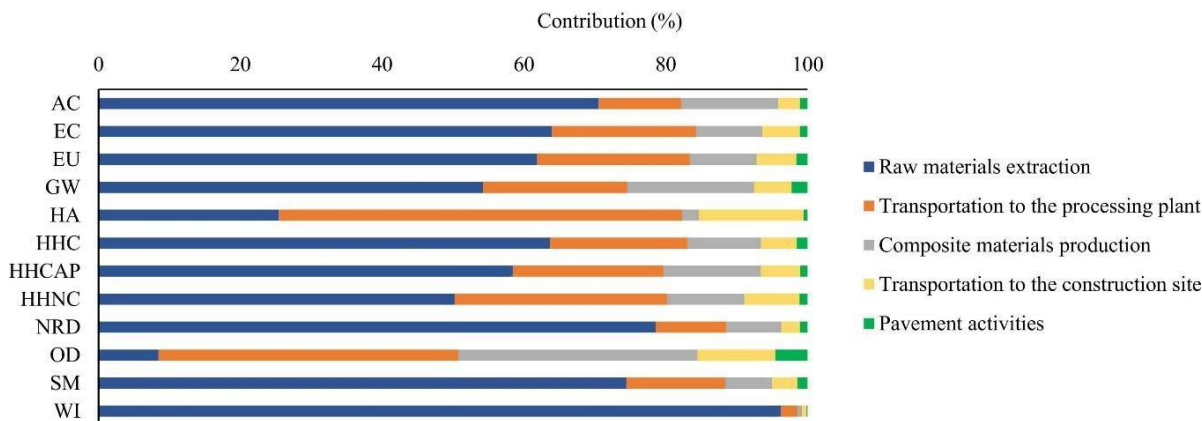
ANEXO 1: Evolución de la estructura del pavimento en China, (Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2020)



a) PP-40



b) CRP-8



c) CFP-8

ANEXO 2: Impactos Ambientales por subetapas (Case Studies in Construction Materials, 2023).