

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

REVISIÓN DE LA LITERATURA DEL ESTADO DEL ARTE  
DE LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS Y FIBRAS DE COCO  
PARA EL DESARROLLO DE PAVIMENTOS SOSTENIBLES

**Francisco Xavier Iturralde Mucarsel**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de

Ingeniero Civil

Quito, 6 de abril de 2021

**Universidad San Francisco de Quito USFQ**  
**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN**  
**DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

REVISIÓN DE LA LITERATURA DEL ESTADO DEL ARTE  
DE LA UTILIZACIÓN DE CÁSCARAS Y FIBRAS DE COCO  
PARA EL DESARROLLO DE PAVIMENTOS SOSTENIBLES

**Francisco Xavier Iturralde Mucarsel**

**Nombre del profesor**  
**Título académico**

**Miguel Andrés Guerra Moscoso**  
**Ph.D en Ingeniería Civil**

Quito, 6 de abril de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Francisco Xavier Iturralde Mucarsel

Código: 00136809

Cédula de identidad: 1721747622

Lugar y fecha: Quito, 6 de abril de 2021

## ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión literaria sobre el estudio del uso de la cáscara y fibra de coco como sustituto parcial del agregado grueso en la mezcla de varios tipos de pavimentos. Mundialmente se están buscando diferentes maneras de preservar y proteger el medio ambiente teniendo en cuenta el gran impacto ambiental que es generado por los diferentes tipos de contaminantes producidos por la industria de la construcción. Investigar y fomentar el uso de materiales naturales para la construcción de viviendas o carreteras es de gran importancia, más aún si estos presentan beneficios ambientales y seguridad para las obras de infraestructura. En este trabajo se realizó una amplia investigación sobre los diferentes usos que se han realizado en pavimentos con cáscaras y fibras de coco con el fin de dar a conocer lo que se ha realizado hasta el momento y observar las piezas faltantes donde no se tiene un amplio conocimiento para que sean tomadas en cuenta para futuras investigaciones.

**Palabras clave:** cáscara y fibra de coco, pavimentos, impacto ambiental, materiales naturales, estado del arte, revisión literaria.

## ABSTRACT

La industria de la construcción busca satisfacer las necesidades de la población teniendo en cuenta la gestión ambiental, que tiene como objetivo mitigar y tratar el impacto generado en las diferentes etapas de desarrollo de una obra de infraestructura civil. Existen materiales de gran resistencia en el tiempo, lo que hace que su biodegradación y reciclaje sea complejo, por lo que es necesario buscar alternativas para la implementación de ciertos materiales en la construcción. Es obligatorio determinar las características de estos materiales y realizar un análisis extenso para conocer su comportamiento mecánico, ya que ofrecen soluciones a problemas estructurales y al mismo tiempo ayudan al medio ambiente; por ello, sería una solución alternativa y viable.

Esta investigación se refiere al uso de cáscaras y fibra de coco como parte del agregado que se utilizará en la mezcla de pavimento. Debido al gran consumo de agua de coco, la eliminación de estos recursos ha generado grandes problemas como contaminación ambiental, emisiones de metano, brotes de insectos, reducción de la vida útil de los vertederos y mayores costos de mantenimiento de las ciudades. Gracias a las nuevas tecnologías, se ha podido realizar un análisis más profundo sobre el uso de materiales amigables con el medio ambiente para ser utilizados en obras de infraestructura civil. La incorporación de la cáscara y las fibras de coco tienen como objetivo determinar su influencia en la mezcla asfáltica, teniendo en cuenta la cantidad a utilizar, su rendimiento a largo plazo y proporcionar una nueva ingeniería tecnológica en la construcción de caminos y carreteras sostenibles mediante el uso de los recursos ecológicos disponibles.

**Palabras clave:** impacto ambiental, materiales naturales, cáscara y fibra de coco, pavimento, recursos ecológicos, sostenibilidad.

**TABLA DE CONTENIDO**

|  |           |
|--|-----------|
| <b><i>INTRODUCCIÓN</i></b>               | <b>9</b>  |
| <b><i>MARCO TEÓRICO</i></b>              | <b>13</b> |
| <b><i>METODOLOGÍA</i></b>                | <b>19</b> |
| <b><i>RESULTADOS</i></b>                 | <b>22</b> |
| <b><i>DISCUSIÓN</i></b>                  | <b>37</b> |
| <b><i>CONCLUSIÓN</i></b>                 | <b>40</b> |
| <b><i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i></b> | <b>42</b> |

**ÍNDICE DE TABLAS****Tabla 1****21**

## ÍNDICE DE FIGURAS

## INTRODUCCIÓN

Según Aurelio Ramírez "la construcción sostenible se puede definir como una que, teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de energía, agua, recursos y materiales que no son perjudiciales para el medio ambiente, es más saludable y está dirigida hacia una reducción de impactos ambientales"(Ramírez, 2013).

Con el constante aumento de la población mundial, ha existido un crecimiento mundial de los recursos naturales y el consumo de energía seguido de una grave degradación ambiental. El aumento del consumo ha llevado a encontrar nuevas alternativas como la sostenibilidad energética y la reutilización de materiales naturales como sustituto a los utilizados en la construcción. Hoy en día toneladas de materiales naturales se convierten en residuos, lo que conduce a un entorno más contaminado. El área de la construcción es responsable del 36% del consumo mundial de energía, por casi el 40% de las emisiones totales directas e indirectas de CO<sub>2</sub> y por más del 45% de la generación de residuos (F.Gutiérrez-Martín & M.F.Dahab, 1998). La demanda de energía de los edificios y su construcción sigue aumentando debido a un mejor acceso a la energía en los países en desarrollo.

La economía circular es una estrategia que tiene como objetivo reducir tanto la entrada de materiales vírgenes como la producción de residuos, cerrando los "bucles" o flujos económicos y ecológicos de recursos. En la industria de la construcción, este es un paso muy importante porque la economía circular utiliza materiales minerales teniendo en cuenta que algunos de estos pueden ser reciclados y reutilizados, dejando atrás todo tipo de contaminación liderada por esta industria. Teniendo en cuenta la ventaja del uso de residuos naturales en diversas aplicaciones en lugar de utilizar y explotar una mayor

cantidad de agregados naturales de las minas, se busca promover un futuro limpio y respetuoso con el medio ambiente.

La protección del medio ambiente es una cuestión relevante tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo porque, como sabemos, la construcción no es un proceso respetuoso con el medio ambiente. Esta industria produce un efecto directo e indirecto masivo sobre el mismo (Enshassi et al., 2014) y es la principal fuente de contaminación ambiental en comparación con otras industrias, las que señalan que cualquier proceso de construcción de infraestructura civil, requiere de varias máquinas, recursos naturales y materiales que generan y liberan contaminantes al aire. Algunos de estos contaminantes se refieren a: ruido, aire, residuos sólidos, residuos líquidos, contaminantes del agua que generan gases y polvo dañinos. Por otro lado, los proyectos de construcción constituyen el motor de la economía nacional y cuyo consumo de electricidad, emisiones ambientales e impacto social son muy significativos.

Se ha llevado a cabo una amplia investigación con el fin de reducir el impacto ambiental en torno a la industria de la construcción con el fin de reutilizar, reducir y reciclar materiales para la construcción de obras civiles y reducir el número de emisiones liberadas al medio ambiente. Por esta razón, se llevará a cabo un análisis del uso de la cáscara y la fibra de coco como sustituto parcial de agregado grueso en las mezclas de pavimento con el fin de dar un segundo uso a este material que se encuentra en enormes cantidades. De esta manera, en vez de ser una posible amenaza para la naturaleza como una fuente de contaminación, se busca darle una segunda oportunidad para su aplicación en pavimentos.

## **Proyecto Integrador Final de Carrera**

El medio de transporte es de vital importancia para el crecimiento y desarrollo de una sociedad. Las carreteras son esenciales para promover y mejorar el desarrollo social y económico de un país puesto que satisface las necesidades básicas para el avance de sus distintas actividades. Al realizar esta investigación sobre la incorporación de la cáscara y fibra de coco, se está promoviendo a crear pavimentos sostenibles que a la misma vez son económicos y viables manteniendo las mismas y hasta mejores características frente a pavimentos comunes dando a conocer a la población que se puede crear más con menos utilizando diferentes diseños para un mismo objetivo.

La toma de decisiones es fundamental dentro de la carrera de ingeniería civil. Las decisiones se formulan a través de un estricto análisis de factibilidad que posteriormente son analizadas para que finalmente puedan ser ejecutadas (M. Guerra & Abebe, 2018). Este proyecto contribuye a tomar decisiones en cuanto optar por métodos alternativos para el desarrollo de pavimentos utilizando materiales de desecho dándoles un segundo uso. De esta manera se está optando mostrar las diferencias de un pavimento común a un pavimento sostenible que usa material de desecho para cumplir una misma necesidad. Es necesario tomar una decisión en cuanto al uso y aplicación de este, generando conciencia para promover el desarrollo y la construcción sostenible.

Este proyecto busca desarrollar el pensamiento crítico profesional a través de experiential learning (M. Guerra & Shealy, 2018), así como el pensamiento crítico en sistemas complejos de infraestructura (M. A. Guerra & Tripp, 2018) contribuye al diseño enfocándose de una manera sostenible, sustentable y beneficiosa de la construcción de pavimentos tanto para el medio ambiente como para los seres humanos. Al incorporar fibras y cáscaras de coco a la mezcla asfáltica, inconscientemente se están disminuyendo grandes cantidades de contaminación producidas por la industria de la minería para la

extracción y explotación de los agregados. Adicionalmente se está promoviendo el uso de materiales reciclados para crear pavimentos de iguales o mejores características teniendo en cuenta las excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas de la cáscara y fibra de coco. Es importante fomentar el diseño de pavimentos sostenibles para que de esta manera sea posible preservar y cuidar del medioambiente.

Un reto de este proyecto fue trabajar de forma virtual debido a la emergencia sanitaria causada por el COVID-19 (M. A. Guerra & Gopaul, 2021) y al mismo tiempo trabajar con investigaciones que ocurren en diversas partes del mundo. Por ejemplo, trabajar con ingenieros civiles e ingenieros de materiales provenientes de USA, de India y de Ecuador es un reto en sí, aunque el entrenamiento en ingeniería civil provee cierta identidad común (M. A. Guerra et al., 2020).

## MARCO TEÓRICO

### **Materiales de desecho**

El volumen de residuos generados en todo el mundo ha aumentado a lo largo de los años debido al crecimiento de la población, el desarrollo social y las actividades socioeconómicas. Los materiales de residuos sólidos son comúnmente conocidos como residuos municipales, industriales y domésticos que se producen masivamente durante la fabricación, así como la vida diaria. Se generan una gran cantidad de residuos sólidos, pero sólo algunos de ellos se utilizan o emplean en estructuras de pavimento (Zhao et al., 2020). Los residuos que provienen de actividades industriales, comerciales, agrícolas y de construcción, se componen de una amplia variedad de materiales como residuos de construcción, desperdicios de alimentos, papel, plástico y artículos residuales desechados. La opción más adecuada y atractiva de gestionar estos residuos es buscar nuevas

posibilidades de minimización, reciclaje y reutilización de residuos (Oluremi et al., 2016).

Históricamente, las agencias de carreteras han sido proactivas en sus esfuerzos por calificar los materiales utilizables para reciclarlos e incorporarlos al sistema de carreteras siempre que sea posible. Hoy en día las preocupaciones ambientales, la disminución de la capacidad de eliminación de desperdicios, asuntos legislativos, economía y esfuerzos de conservación han influido en la investigación y uso constructivo para que los diversos desechos puedan ser utilizados como materiales de construcción.

Durante el desarrollo tecnológico, la cantidad y la calidad de los materiales de desecho han dado lugar a una crisis de eliminación de residuos (Shariati et al., 2018). El reciclaje de materiales de construcción permite ahorrar energía, recursos naturales, reduce los residuos sólidos, contaminantes del aire y el agua y reduce los gases de efecto invernadero (Bolden, 2013). La industria de la construcción debe empezar a concientizar y aprovechar todos los beneficios del uso de residuos y materiales naturales reciclados que pueden ser tomados en cuenta para su uso en obras de infraestructura civil.

La construcción de pavimentos con materiales de residuos sólidos reciclados se ha convertido en un tema adecuado de gran preocupación debido a sus beneficios ambientales y económicos (Li et al., 2019). Los materiales de nueva producción suelen ser caros o inviables, lo que hace que los residuos o materiales alternativos sean más atractivos cuando se habla de carreteras. Los materiales de desecho se pueden utilizar en su condición natural, pero en la mayoría de las situaciones, comúnmente se los mejora para satisfacer sus soluciones de diseño. Cuando se utilizan materiales de desecho en pavimentos, es importante asegurarse de equilibrar entre el riesgo técnico, la responsabilidad de mantenimiento de los materiales disponibles, las emisiones ambientales y el costo de capital (Jamshidi & White, 2020).

### **Cáscara de coco y fibra utilizada en el pavimento:**

Este artículo busca investigar el uso de cáscara y fibra de coco en el diseño de los diversos tipos de pavimentos. Se sabe que la cáscara de coco es uno de los principales contaminantes que contribuyen al problema de contaminación de una nación. Estos residuos sólidos en forma de conchas equivalen a 3.18 millones de toneladas producidas anualmente. Las cáscaras y fibras de coco se conocen como nuevos materiales de desecho utilizados en la industria de las carreteras gracias a ser resistentes a la intemperie y al no tener valor económico; además, su proceso de eliminación es costoso y genera problemas ambientales (Tay Lay Ting et al., 2015).

El uso de fibras naturales (fibras de coco) ha aumentado la resistencia en los pavimentos e investigaciones previas han determinado que las fibras tienen una alta resistencia a la tracción en las mezclas asfálticas (Hadiwardoyo, 2013). Según Ting (Tay Lay Ting et al., 2015) los estudios han demostrado que la fibra de coco aumenta la estabilidad, la resistencia al deslizamiento y el módulo resistente; ya que por el otro lado, la cáscara de coco mejora la resistencia indirecta de la tracción y la fluencia estática. La fibra de coco también actúa como un aditivo estabilizador cuando se añade a la mezcla de asfalto, ya que genera muchas ventajas como reducir el sangrado de la carpeta, mejorar la macro textura del recubrimiento, ayudar a reformar las características mecánicas y mejorar el pavimento del drenaje superficial de los neumáticos (Tay Lay Ting et al., 2015).

Las fibras de coco permiten la aplicación de tamaño de grano discontinuo aumentando el contenido de aglutinante, lo que resulta en la reducción de la oxidación de las mezclas asfálticas, la penetración de humedad y la separación. Por otro lado, la cáscara de coco es más resistente contra impactos, abrasión y aplastamiento en comparación con

otros materiales como el granito triturado convencionalmente utilizado (Tay Lay Ting et al., 2015).

### **Cáscara y fibra de coco en el diseño de mezcla de hormigón:**

El hormigón es el principal material de construcción de ingeniería civil y desarrollo de infraestructura en todo el mundo debido a que crea demanda de materiales de construcción. La mezcla de hormigón incluye ingredientes como cemento, áridos, agua y aditivos, en la cual los agregados cubren la mayor parte. En los Estados Unidos se producen alrededor de 2.500 millones de toneladas de agregados al año y 275 millones de toneladas en el Reino Unido (para el año 2006). Teniendo esto en cuenta, la construcción contemporánea de ingeniería civil ha tratado de encontrar materiales alternativos en lugar de agregado natural para la producción de hormigón, lo que hace que el hormigón sea un material de construcción sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Yerramala & C, 2012).

Diferentes materiales de desecho alternativos y productos industriales (cenizas volantes, cenizas de fondo, agregados reciclados, arena de fundición, caucho de migaja, vidrio) han sido reemplazados por agregados naturales. Aparte de los materiales mencionados, algunos estudios demostraron que las cáscaras de coco se pueden utilizar como un agregado en hormigón.

El coco se cultiva en más de 86 países de todo el mundo con un total de 54.000 millones de frutos secos al año, en los que la India ocupa la primera posición con una producción anual de coco de 13.000 millones de frutos secos, seguida de Indonesia y Filipinas (Yerramala & C, 2012). En países como la India se genera una gran cantidad de residuos de cáscara de coco a partir de industrias de productos de coco y es necesario abordar su eliminación.

Los investigadores han estudiado y analizado este material natural para su uso como ingrediente en la mezcla de hormigón teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas como la resistencia compresiva y la densidad del hormigón para así averiguar la cantidad adicional de cemento necesaria para compensar la reducción de la resistencia del hormigón resultante debido a su sustitución (Kanojia & Jain, 2017).

En Nigeria, el alto costo de los materiales de construcción convencionales es un factor importante, por lo que este problema necesitaba una solución factible para encontrar materiales alternativos de construcción como el uso de cáscaras de coco y palma triturada granular como sustitutos del agregado grueso convencional en varias gradaciones (Olanipekun et al., 2006).

### **Mejora del suelo con cáscara de coco:**

En la India, los depósitos de suelo de algodón negro son problemáticos para los ingenieros civiles. Las estructuras de ingeniería civil experimentan daños a gran escala debido a la pérdida de fuerza en estos suelos a causa de la lluvia excesiva y la contracción durante el verano. En la India la mayor parte del suelo es arcilla, lo que trae problemas a la zona de construcción. La estabilización del suelo debe realizarse con aditivos adecuados para salvar proyectos en construcción con el objetivo principal de mejorar el suelo aumentando la capacidad de rodamiento. Con el uso de coco como aditivo, además de ser eficaz y rentable, este material natural ha demostrado aumentar la resistencia del suelo eficazmente sin afectar a la base de la estructura (Bade et al., 2016).

En Malasia también se han utilizado cáscaras de coco como estabilizador para la subbase del suelo. Los residuos agrícolas es uno de los métodos más eficaces para reducir

los residuos y por su composición mineral se ha utilizado como estabilizador en el diseño del pavimento para fortalecer la subbase del suelo débil (Ramli et al., 2019).

A medida que aumenta la población y las naciones en desarrollo han llevado a una creciente demanda de carreteras, ferrocarriles, viviendas y otras infraestructuras, las estructuras necesitan un suelo con mayor estabilidad para soportar su peso. La estabilidad depende directa e indirectamente de la estabilidad del suelo. Los suelos expansivos, dependiendo del clima y las propiedades físicas, se encogen y cambian su volumen (evaporación o estaciones secas de agua), lo que viene a ser una amenaza constante. Por lo tanto, se necesita una estabilización del suelo para controlar los cambios de volumen, modificar la plasticidad, mejorar la capacidad de trabajo al tiempo que mejora la resistencia y controlar los asentamientos diferenciales; con lo cual, la ceniza de cáscara de coco actúa como un estabilizador del suelo que da una enorme mejora en la resistencia (Isah et al., 2018).

Entre 2014 y 2015 Australia produjo más de 27 millones de toneladas de residuos, lo que indica un aumento de 6 millones de toneladas desde 2007, teniendo en cuenta que de los 27 millones de toneladas de residuos, aproximadamente 6.5 millones de toneladas de residuos eran desechos municipales, 13 millones de toneladas de residuos eran desperdicios industriales y comerciales, y 7.1 millones de toneladas de residuos eran de construcción y demolición (Rahman et al., 2020). Hoy en día, los métodos convencionales de eliminación de residuos no son eficientes y respetuosos con el medio ambiente. La alternativa más común para deshacerse de los residuos es la quema o incineración, donde se producen millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y alrededor de 210 tipos diferentes de compuestos tóxicos (mercurio, fluoruros, ácido sulfúrico, óxido nitroso, cloruro de hidrógeno y cadmio) que son liberados al aire.

Como sabemos, los materiales de desecho están llenando vertederos y reduciendo la cantidad de espacio habitable contaminando el entorno circundante. El proceso de incineración convencional libera emisiones tóxicas a la atmósfera, por lo que los investigadores están buscando maneras de gestionar y reciclar materiales de desecho. Hoy en día la reutilización y el reciclaje son los métodos más eficientes en la gestión de residuos, donde la industria del pavimento es uno de los mejores sectores donde se reciclan diferentes tipos de residuos en hormigón asfáltico y betún (Rahman et al., 2020).

## **METODOLOGÍA**

Para el siguiente artículo, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura. Este método tiene numerosas ventajas sobre las revisiones tradicionales no estructuradas. Adopta un proceso científico y transparente replicable que permite minimizar los errores, mejorando la calidad del proceso revisado, los resultados y la confirmación de su validez repitiendo pasos claros durante el proceso de revisión para sintetizar y organizar la literatura acumulada en un campo científico que proporciona marcos de conocimiento existentes. Es un enfoque versátil adoptado en estudios recientes de alta calidad sobre diferentes temas de investigación y por estas razones se considera que este es el método más adecuado para el propósito de esta investigación, ya que está destinado a ofrecer una revisión sistemática y de alta calidad sobre la extensa investigación de la cáscara y fibras de coco como sustituto parcial en agregado grueso para varios tipos de pavimentos. Una revisión de la literatura es un acercamiento válido ya que permite identificar el contenido conceptual de este campo para futuras teorías de investigación que se llevarán a cabo correctamente. El objetivo de este artículo científico es identificar documentos relacionados con el uso de cáscaras y fibras de coco como sustitutos parciales en

pavimentos. Esta investigación está dirigida sobre la base de varios artículos científicos de los que se ha podido llegar a conclusiones prácticas y ser analizadas en este trabajo.

La unidad de análisis de este proyecto se enfoca en ser un único artículo de investigación. Además, delineamos los trabajos de investigación que se recopilaron en función del alcance. Se tomaron en consideración varios parámetros, como los casos de clasificación, evaluación e investigación y las publicaciones. En la clasificación, se seleccionó y definió el tipo de documentación que se aplicará y revisará en la literatura para su estructuración y clasificación, mientras que en la evaluación el material analizado se ordena y clasifica de acuerdo con el contexto de la clasificación. Esto permite que la identificación de las cuestiones relevantes y la interpretación de los resultados lleguen a una conclusión sobre los temas estudiados y analizados. El contexto del problema permite la clasificación de la literatura revisada. Por último, en los casos de investigación y publicaciones, este documento se centra únicamente en la literatura científica de artículos publicados. Para la investigación de estos documentos oficiales, se **utilizaron palabras clave como "pavimento verde", "cáscara de coco y fibras", "impacto ambiental", "agregados naturales" y "cáscara de coco y fibras en el desarrollo de pavimentos"**.

#### Límites conceptuales:

El primer paso fue definir, aclarar y refinar el objetivo. Esta fue una tarea extensa ya que el campo es amplio y a lo largo de los años, la industria de la construcción ha ampliado sus fronteras en busca de estudios respetuosos con el medio ambiente y en busca de resultados. Teniendo en cuenta los pavimentos sostenibles parcialmente hechos con agregados naturales, con el tiempo ha existido un mayor número de aceptaciones con respecto a este concepto. Coherentemente, con el objetivo propuesto de explorar el uso de cáscaras y fibras de coco como parte de agregados sustitutos para pavimentos, decidimos considerar estudios eficaces y probados que están actualmente en

funcionamiento. Por lo tanto, esta revisión incluyó varios tipos de artículos teniendo en cuenta el uso, el rendimiento, la viabilidad y el impacto ambiental del uso de pavimentos sostenibles.

#### Recopilación y análisis de datos:

El objetivo principal de este paso fue crear una base de datos completa de artículos que proporcionan una visión general de las principales características teniendo en cuenta la literatura reciente, que es útil para extraer datos para su posterior análisis y consideración. Se siguieron algunos criterios de inclusión y exclusión con respecto a la selección de los artículos revisados. Se revisaron un número de 29 artículos publicados en revistas académicas desde enero de 2011 a febrero de 2021. En base la selección de los artículos, las publicaciones de texto completo fueron cuidadosamente leídas con el fin de encontrar y organizar los datos de acuerdo con las variables de clasificación, tales como "uso de cáscaras de coco y fibras en pavimentos", "materiales naturales en el pavimento", "eficiencia y viabilidad del uso de cáscaras de coco y fibras en pavimentos". Además, para cada documento, se hizo un resumen individual, centrándose en su investigación a mayor profundidad.

Para limitar el número de publicaciones, se excluyeron los artículos empíricos que abordaban principalmente cuestiones operativas específicas, así como trabajos altamente técnicos sobre cuestiones sociales y económicas e investigación con una perspectiva altamente ecológica, así como información no relevante basada en el objetivo de este artículo. Esto parece estar justificado al considerar el objetivo propuesto, que se centra en integrar la importancia del impacto ambiental mediante el uso de materiales naturales como cáscaras y fibras de coco como parte de la mezcla del pavimento.

Los datos se registraron en una hoja de cálculo y se llevó a cabo un cuidadoso proceso para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos recopilados. Como se

mencionó anteriormente, se leyó cuidadosamente las publicaciones obtenidas y recopilaron datos utilizando un resumen en el que se notificaron los datos más importantes. Por último, se realizaron reuniones semanales con el fin de discutir la información obtenida.

## **RESULTADOS**

Después del análisis de los 29 documentos científicos que se refieren a la incorporación de cáscaras y fibras de coco en el desarrollo del pavimento, agrupamos los artículos de acuerdo con su área de contribución dentro de seis categorías. La Tabla 1 muestra las categorías, una breve descripción y los artículos de cada categoría.

| Categoría                                       | Autor                         | Año  | Descripción de la categoría   | Artículos clasificados en base a la categoría   |
|---|-------------------------------|------|---|---|
| Cáscara de Coco                                 | Amiera Jeffrey et al.         | 2016 | Las cáscaras de coco se colocan en diferentes porcentajes en la mezcla pavimento de pavimento, obteniendo así aumentos en sus propiedades mecánicas.  | Estudio comparativo de bio-asfalto, tar de destilación de cáscara de coco y carretera de plástico en términos de construcción, aspectos económicos y regulatorios |
|   | Girish et al.                 | 2020 |   | La influencia de la cáscara de coco como agregados gruesos en la mezcla de asfalto  |
|   | Limantara et al.              | 2019 |   | Reemplazo parcial de polvo de piedra por polvo de carbón de cáscara de coco en pavimento flexible   |
| Fibra de Coco                                   | Rao et al.                    | 2019 | Las fibras de coco, que varían en longitud, tienen buenas características mecánicas frente a cargas vehiculares como la tracción y la adherencia.   | Evaluación de las propiedades de la mezcla porosa asfáltica debido a la adición de fibras de pinnata y coco Arenga  |
|   | Maharaj et al.                | 2019 |   | Análisis del uso de fibras naturales y aglutinante de caucho asfáltico en mezclas asfálticas discontinuas   |
|   | Sumesh et al.                 | 2015 |   | Incidencia de la incorporación de fibras de coco y valor de pH de la fuente hídrica, en los tiempos de mezcla y curado de micro pavimentos                        |
|   | Ting et al.                   | 2019 |   | Evaluación del pavimento y aplicación de geo textiles en pavimentos   |
|   | Oda et al.                    | 2012 |   | Evaluación de la adición de fibras cortas de coco en el características de las mezclas asfálticas   |
|   | Rachman & Syammaun            | 2019 |   | Utilización de la fibra de coir como modificador asfáltico  |
|   | Figueroa                      | 2020 |   | Desarrollo de un fot de chapa Coir Fibre-Latex Composite (CFLC) como separador en pavimentos flexibles  |
|   | Sigit Pranowo Hadiwardoyo     | 2013 |   | Propiedades químicas y físicas de la fibra de coco en la mezcla asfáltica: Una revisión   |
| Cáscara y Fibra de Coco                         | T. L. Ting et al.             | 2018 | La unión de la cáscara y la fibra de coco como parte de la mezcla de pavimento, permite resultados impresionantes en términos de resistencia, estabilidad y porosidad.  | Una revisión de la utilización de cáscara de coco y fibra de coco en la construcción de carreteras  |
|   | Tay Lay Ting et al.           | 2017 |   | Coefficiente de permeabilidad de la mezcla asfáltica porosa que contiene cáscaras y fibras de coco  |
|   | Haryati et al.                | 2019 |   | Influencia De La Cáscara y Fibra de Coco en Mezclas Asfálticas en Caliente  |
|   | Norhidayah et al.             | 2019 |   | Optimización del diseño de mezcla estándar de fibra de coco de pavimentación porosa y cáscara para el área de estacionamiento                                     |
|   | A. D. Limantara et al.        | 2018 |   | Efecto de la cáscara de coco tratada y la fibra en el módulo resistente del asfalto poroso de doble capa en diferentes envejecimientos                            |
|   | Arriola Carrasco et al.       | 2020 |   | Módulo resistente de asfalto poroso de doble capa: Aplicación de cáscara de coco tratada con álcali y fibra como reemplazo agregado                               |
|   | Tay Lay Ting et al.           | 2015 |   | Estabilidad y resistencia a la mezcla asfáltica porosa que incorpora cáscaras y fibras de coco  |
| Cáscara y Fibra de Coco en Pavimento Rígido     | Ramadhansyah et al.           | 2020 | La implementación de cáscaras y fibras de coco en pavimentos rígidos resulta en modificaciones de sus propiedades físicas y mecánicas, demostrando una mejora en su estabilidad, módulo resistente y rigidez de fluencia. | Propiedades del hormigón asfáltico AC14 que contiene cáscara de coco como agregado grueso   |
|   | Rahman et al.                 | 2020 |   | Propiedades del hormigón de calidad del pavimento para la sustitución parcial de áridos gruesos naturales por agregados de cáscara de coco                        |
|   | Siti Nur Amiera Binti Jeffrey | 2015 |   | Incorporación de fibra de coco para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$ para pavimentos rígidos Lima, 2019           |
|   | Naveenkumar et al.            | 2018 |   | Reciclaje de materiales de desecho para hormigón asfáltico y betún: Una revisión  |
|   | Acosta & Yonel                | 2019 |   | Efecto de envejecimiento a corto plazo del hormigón asfáltico que incorpora cenizas de carbón de cáscara de coco  |
| Cáscara y Fibra de Coco en Pavimento Articulado | Kassim & Rohim                | 2017 | El uso de cáscara y fibra de coco en pavimento articulado permite obtener bloques más ligeros, baratos y de mejor calidad, logrando así un beneficio para el medio ambiente.  | Bloque de pavimento de enclavamiento verde sostenible   |
| Cenizas/Nanomateriales de cáscara de Coco       | Jeffrey et al.                | 2020 | Las cáscaras de coco en forma de ceniza utilizadas como nanomaterial mejoran la dureza, genera una estructura homogénea y aumenta la cohesión y adherencia del betún.   | Característica de la ceniza de cáscara de coco como relleno y residuos plásticos LDPE como materiales de sustitución de mezclas asfálticas porosas                |
|   | Jeffrey et al.                | 2018 |   | La influencia del nano-carbono de la ceniza de la cáscara de coco como modificador en las propiedades del betún   |
|   | Jeffrey, Jaya, Hassan, et al. | 2018 |   | Efecto de la cáscara de coco de ceniza de carbón de material de desecho de diferentes tamaños en las propiedades físicas del betún                                |
|   | Syammaun et al.               | 2019 |   | Efectos de la ceniza nanocharcoal de cáscara de coco en las propiedades físicas y reológicas del betún  |
|   | Abdullah et al.               | 2017 |   | Rendimiento mecánico de la mezcla asfáltica que contiene cenizas de cáscara de coco nanocarbons   |

*Tabla 1: Tabla con las diferentes categorías a las que se asignaron documentos científicos en función de su subdivisión.*

### **1. Cáscara de coco en pavimento flexible**

Esta categoría se refiere a artículos (3 en total, de 1 a 3) relacionados con estudios mecánicos realizados para el uso de cáscaras de coco únicamente en el diseño de pavimentos. En general, estos artículos muestran pruebas mecánicas realizadas en un laboratorio durante un estudio experimental donde se utilizaron diferentes cantidades de cáscaras de coco, así como varias designaciones de mezcla y el análisis de varias pruebas mecánicas.

El primer artículo se enfoca en la influencia de las cáscaras de coco como agregados gruesos en la mezcla de asfalto donde la prueba de estabilidad Marshall muestra que el contenido óptimo de betún para las mezclas de asfalto es del 5.1%, mientras que el reemplazo óptimo de la cáscara de coco es del 10%. Los investigadores investigaron la fluencia volumétrica y dinámica, la resistencia a la tracción indirecta y el módulo resistente, mientras que los resultados de las pruebas mostraron que la estabilidad disminuye al tiempo que aumenta el contenido de cáscara de coco debido a su alta absorción de agua.

El artículo 2 habla de la sustitución parcial del polvo de piedra por polvo de carbón de cáscara de coco en pavimento flexible. Aquí el polvo de cáscara de coco fue reemplazado por polvo de piedra al 2% al 10% en peso de agregados y el rendimiento del polvo de piedra y la cáscara de coco en mezcla de hormigón bituminoso fue probado por la prueba de estabilidad Marshall con un contenido óptimo de aglutinante obtenido en 4.33% con un número total de 28 muestras, cada una con un porcentaje diferente de polvo de carbón de cáscara de coco (0%,2%,4%,6%,8%,10%) y un porcentaje de betún diferente (4%, 4.5%, 5%). A partir de los resultados, los autores observaron que el carbón

de cáscara de coco se puede utilizar como un reemplazo parcial del polvo de piedra en cursos superficiales.

El artículo 3 es un estudio comparativo de bio-asfalto, destilación de cáscara de coco en términos de construcción, aspectos económicos y regulatorios, en el que los investigadores pretenden proporcionar una comparación de varios tipos de materiales para que pueda servir como guía para la evaluación teniendo en cuenta obstáculos como: presupuesto limitado, falta de regulación, sin incentivos gubernamentales en la industria de la construcción, falta de especificaciones técnicas, costosa inversión en tecnología y falta de herramientas que utilicen energía respetuosa con el medio ambiente.

Los futuros pasos de investigación en base a este estudio son necesarios para llevar a cabo una extensa revisión realizando un análisis de investigación detallado necesario para evaluar el rendimiento del betún modificado en la mezcla, así como promover nuevos estándares en el campo de la construcción de carreteras amigables al medio ambiente para poder superar todos los obstáculos que puedan encontrarse.

En estos estudios, con 28 muestras y en un laboratorio en tales condiciones, los investigadores vieron un aumento en el módulo resistente, rigidez y estrés indirecto. Además, probaron 4 mezclas cambiando el porcentaje de cáscaras de coco, entre el 5%, el 10%, el 20% y el 40% y el 10% proporcionó mejores resultados. Esto se hizo con un estudio experimental teniendo en cuenta las propiedades de las materias primas, cáscara de coco y preparación de mezclas. Estas muestras fueron analizadas con las siguientes pruebas: Estabilidad Marshall, fluencia dinámica, resistencia a la tracción indirecta y módulo resiliente (Amiera Jeffry et al., 2016; Girish et al., 2020; Arthur Daniel Limantara et al., 2019).

## 2. Fibra de coco en pavimento flexible

Esta categoría se refiere a artículos (7 en total, de 4 a 11) relacionados con el análisis y aplicación realizados para el uso de fibras de coco en el diseño de pavimentos. Estos artículos se centran solamente en el uso de fibras de coco como mezcla de asfalto.

En el artículo 4 se hace hincapié en la utilización de la fibra de coco como modificador asfáltico. La influencia de la fibra añadida se evaluó midiendo los cambios en el ángulo de fase ( $\delta$ ) que mide la elasticidad, y el módulo complejo (G) que mide la rigidez.

Los artículos 5 y 6 se centran en mezclas asfálticas discontinuas y porosas con el uso de fibras de coco naturales. Mediante la adición de fibras naturales a las mezclas asfálticas porosas permeables, el aglutinante y vacíos se tienen en cuenta por sus beneficios en la construcción de carreteras debido a su funcionalidad, así como estas fibras naturales proporcionan dureza para soportar la fuerza de tracción.

Los artículos 7 y 8 hablan sobre las propiedades químicas y físicas de la fibra de coco en la mezcla asfáltica. Las fibras de coco han sido estudiadas por su uso potencial en el campo de la construcción para aumentar la resistencia de los materiales debido a su alta resistencia a la tracción. Además, es uno de los principales materiales en la construcción de carreteras, ya que puede mejorar la resistencia al deslizamiento y mientras se trata con NaOH, el valor de penetración se reduce, aumentando así el punto de ablandamiento del betún modificado. Además, se estudió el efecto pH en el agua que se utiliza en la mezcla de pavimentos, mostrando que las fuentes de ácido desestabilizan las mezclas debido a la pérdida de fuerza repulsiva entre partículas, lo que demuestra que el pH neutro es ideal para lograr mezclas estables.

Los artículos 9 y 10 se refieren al desarrollo de nueva fibra de fibra - lámina compuesta de látex que se utilizará como separador en pavimentos flexibles utilizados como refuerzo y aplicación de geotextiles. Se observó que la mejora es proporcional al aumento en el contenido de látex y la longitud de la fibra de coco (100 mm), sin embargo, la tasa de mejora mostró una tendencia decreciente, mientras que la fibra de coco aumentó en longitud. En el uso de geotextiles, se utilizaron dos métodos para cuantificar las mejoras del uso de geotextiles que analizan un marco integral de análisis de costos del ciclo de vida. Estos geotextiles hechos de fibra de coco han indicado que la biodegradabilidad se puede utilizar como una ventaja y la fibra de coco a base de geotextil tiene el potencial de ser utilizada para la construcción de caminos rurales sobre arcilla blanda.

El artículo 11 se refiere a la evaluación de la adición de fibras cortas de coco sobre las características de las mezclas asfálticas. Las fibras cortas de coco, con una longitud de 5 a 12.5 milímetros, se incorporan en 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% y 1.50% en peso de asfalto con una variación del tamaño de la fibra en 5,7,10 y 12.5 mm para determinar su efecto sobre las características del asfalto. La variación del tamaño de la fibra fue estudiada para determinar sus efectos en la mezcla de agregado asfáltico a 60 °C utilizando métodos de prueba como inmersión Marshall. Concluyendo que una adición de 0.75% con fibras de 5 mm, aumentó el valor de la estabilidad Marshall en un 10-15% y condujo a un betún de menor grado de penetración.

Con respecto a este análisis, los posibles pasos futuros para seguir conocimientos en esta área están considerando una investigación más profunda sobre el comportamiento de la colocación de fibras en el pavimento, investigando si la dirección de las fibras de coco genera cambios mecánicos importantes ante cargas vehiculares teniendo en cuenta su dirección o sentido de su aplicación. También es necesario realizar mediciones de la

base de tiempo para investigar el efecto a medio o largo plazo de la adición de fibras naturales a la mezcla porosa asfáltica. Del mismo modo, se necesitan futuros trabajos de investigación para diseñar el pavimento de refuerzo de geo-rejilla mediante el método de diseño mecanicista-empírico y se necesitan esfuerzos para establecer la pauta para la colocación de geo-rejilla en el pavimento y buscar alternativas para observar si el compuesto desarrollado puede ser realmente utilizado como separador en pavimentos flexibles.

Las fibras de coco suelen estar en un rango de diferentes longitudes que varían de (2.5 - 10 - 50 - 100 y 150 milímetros). Estas fibras muestran buenas características mecánicas contra fuerzas de tracción y cargas vehiculares gracias a sus propiedades físicas y químicas. Este material se ha utilizado en el campo de la construcción de carreteras ya que contiene una alta resistencia a la tracción, además de mejorar la adherencia entre los vehículos y el pavimento. Los tratamientos químicos con NaOH se han llevado a cabo con resultados sorprendentes como un menor valor de penetración, una mayor resistencia y un aumento en el punto de ablandamiento. Asimismo, se han obtenido beneficios del uso de fibras de coco ya que genera un pavimento poroso, lo que implica una mejor permeabilidad. Por último, este material reduce los tiempos de mezcla, rotura y curado debido a su capacidad de absorción y aereación. La inclusión de este material natural permite generar diseños de mezclas más eficientes, reducir costos y ayudar al medio ambiente (Figuroa, s. f.; Girish et al., 2020; Hadiwardoyo, 2013; Maharaj et al., 2019; Oda et al., 2012; Rachman & Syammaun, 2019; Sumesh et al., 2015; Tay Lay Ting et al., 2015).

### **3. Cáscara de coco y fibra en pavimento flexible**

Esta categoría se refiere a artículos (7 en total, de 12 a 18) relacionados con el uso y aplicación de cáscaras de coco y fibras utilizadas tanto en la misma mezcla, buscando mejores propiedades físicas y mecánicas en el diseño del pavimento.

Los artículos 12, 13 y 14 se centran en el coeficiente de estabilidad, optimización y permeabilidad de las mezclas asfálticas porosas que incorporan cáscaras y fibras de coco. Estos materiales naturales mientras se combinan en una sola mezcla de pavimento, proporcionan una gran porosidad, menores costos a largo plazo, menos mantenimiento requerido de los sistemas de drenaje almacenado y filtración. Las pruebas como resistencia a la estabilidad y al ruteo se examinan añadiendo cuatro porcentajes diferentes de reemplazo de cáscara de coco (0%, 5%, 10% y 15%) y tres porcentajes diferentes de fibras de coco (0%, 0.3%, 0.5%) en el que el reemplazo óptimo de la cáscara de coco para la mezcla de pavimento es del 10%, mientras que en las fibras de coco es del 0.3%.

Los artículos 15 y 16 se centran en el módulo resiliente del asfalto poroso de doble capa. La cáscara de coco ha sido sustituida por el asfalto poroso de doble capa en un 5%, 10% y 15% del agregado con un tamaño de 5 mm en peso, mientras que la fibra de coco se añadió a la mezcla en 0.3% y 0.5% en peso con un total de 12 muestras usando el método Marshall. Los resultados mostraron que el asfalto poroso de doble capa con 10% tiene un módulo resiliente mayor, sin embargo, la muestra con fibra de coco tiene un módulo resiliente menor a medida que aumenta la cantidad de fibra.

El artículo 17 es una revisión de la utilización de cáscara y fibra de coco en la construcción de carreteras que proporciona estudios que muestran las propiedades mecánicas en las aceras mientras se utilizan estos materiales naturales. Basándose en el alcance, los estudios mostraron que la fibra de coco puede aumentar la estabilidad, la resistencia al deslizamiento y el módulo resiliente, mientras que la cáscara de coco mejora

la resistencia indirecta a la tracción y el comportamiento estático de fluencia en el pavimento asfáltico modificado. Concluyendo así que el uso de ambos materiales en una sola mezcla mejora significativamente las propiedades del pavimento.

El artículo 18 demuestra la influencia de la cáscara y fibra de coco en las mezclas de asfalto caliente. Las características de las cáscaras y fibras de coco fueron estudiadas previamente para ser aplicadas como componentes porcentuales dentro de una mezcla de asfalto caliente. Los resultados fueron evaluados por la regulación peruana según el método ASTM y Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto. Las conclusiones mostraron que tanto la cáscara como las fibras de coco mejoran las propiedades de las mezclas asfálticas cuando se combinan, sin embargo, su aplicación en otros tipos de mezclas no se descarta.

Se debe realizar una investigación detallada sobre las cáscaras y fibras de coco en cuanto a los mecanismos de refuerzo y su contenido óptimo de fibra y cáscara porque como sabemos, las cáscaras y fibras de coco difieren en su tamaño, forma, longitud y orientación, lo que podría cambiar su comportamiento mecánico. Además, el rendimiento de la cáscara y la fibra de coco debe determinarse por sus efectos en los resultados de las diferentes pruebas y ensayos. El campo de investigación es obligatorio para buscar nuevas alternativas sobre el modelado de las propiedades mecánicas de estos materiales. Además, se debe llevar a cabo una investigación detallada sobre los mecanismos de refuerzo de cáscaras y fibras de coco. Los investigadores mencionan que se debe investigar mas detalladamente las propiedades de adherencia y tratar de probar diferentes tipos de coco ya que difieren de su longitud de fibra, diámetro y espesor de la cáscara de coco, la variación de la temperatura de la mezcla asfáltica y la posibilidad de que este material pueda ser utilizado en el desarrollo de mezclas cálidas y templadas.

Las cáscaras y fibras de coco son nuevos productos de desecho que han tenido lugar en la construcción de carreteras con la aplicación de asfalto poroso de doble capa. La cáscara de coco se ha utilizado como sustituto de agregado grueso en 5%, 10% y 15% de su peso con un tamaño de 5 mm; mientras que la fibra de coco se ha implementado de 0.3% a 0.5% en peso, así como se han llevado a cabo tratamientos químicos con NaOH. La influencia de estos materiales naturales juntos permite una mayor estabilidad, porosidad y resistencia en las mezclas de pavimento. Indistintamente, la cáscara de coco mejora la resistencia a la tracción indirecta, el comportamiento estático de la fluencia del asfalto, la resistencia indirecta de la tracción y el comportamiento estático del pavimento asfáltico modificado, mientras que las fibras aumentan la resistencia al deslizamiento de estabilidad, la resistencia al deslizamiento, el módulo de elasticidad y el módulo resistente. Teniendo ambas cosas, cáscara y fibra de coco en pavimentos, los resultados son impresionantes (Arriola Carrasco et al., 2020; Haryati et al., 2019; A. D. Limantara et al., 2018; Norhidayah et al., 2019; T L Ting et al., 2018; Tay Lay Ting et al., 2015, 2017).

#### **4. Cáscara de coco y fibra en hormigón asfáltico**

Esta categoría se refiere a artículos (5 en total, de 19 a 23) relacionados con el uso y aplicación de cáscaras de coco y fibras en hormigón asfáltico, teniendo en cuenta diferentes aspectos del estudio.

El artículo 19 se centra en el efecto de envejecimiento a corto plazo en el hormigón asfáltico que incorpora cenizas de carbón de cáscara de coco donde la ceniza de cáscara de coco de carbón (CCSA) se añadió en un betún en diferentes porcentajes (0%, 2%, 4%, 6% y 8%) por peso en tamaños de partículas de 0.075 mm y menores. Se realizaron pruebas como la estabilidad Marshall, propiedades volumétricas, módulo resistente y fluencia dinámica. Los investigadores observaron que la adición de CCSA en

hormigón asfáltico resultó en un desarrollo significativo en cuanto a la fluencia, estabilidad y módulo de resiliencia al agregar de 4% a 6% de ceniza de carbón.

El artículo 20 es una revisión literaria sobre el reciclaje de materiales de desecho para hormigón asfáltico y betún. Los investigadores están trabajando para explorar formas sostenibles de gestionar y reciclar materiales de desecho en el campo de la construcción investigando residuos de demolición de edificios, caucho de neumáticos, aceite de palma, cáscara y fibras de coco, celulosa y fibra de poliéster como sustitutos de pavimentos de hormigón. Este artículo contiene información antes mencionada, como el porcentaje óptimo de cáscaras y fibras de coco que muestra un 10% de contenido óptimo para cáscara de coco y 0.3% para fibras de coco.

El artículo 21 habla de la incorporación de fibra de coco para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas del hormigón asfáltico con  $f_c=210\text{kg/cm}^2$ . Esta investigación tiene un diseño experimental de un tipo replicado con un enfoque cuantitativo y un nivel explicativo de flujo. La población estaba compuesta por 36 especímenes cilíndricos y 16 especímenes de haz. La fibra de coco se incorporó en porcentajes del 0.5%, 1% y 1.5%. Una vez realizado el análisis, los investigadores observaron que la resistencia de las muestras estaba por debajo de la resistencia del hormigón estándar. También se determinó que cuanto mayor era el porcentaje de fibra de coco, la mezcla de hormigón era menos viable.

El artículo 22 muestra las propiedades del hormigón asfáltico que contiene cáscaras de coco como agregado grueso. En este documento, se examinaron varias pruebas como diseño de mezcla Marshall, módulo resiliente, resistencia a la tracción indirecta y fluencia dinámica. El tamaño de la cáscara de coco utilizada fue de 5 mm con un reemplazo agregado grueso al 10%, 20%, 30% y 40%. Los resultados mostraron que la muestra que

contenía un 10% de reemplazo de cáscaras de coco mostró una mayor resistencia a la deformación, lo que demostró el porcentaje óptimo de mezcla de cáscara de coco.

El artículo 23 hace hincapié en una investigación llevada a cabo en un análisis comparativo de costos y características de resistencia del hormigón asfáltico utilizando cáscaras de coco trituradas y granulares como sustitutos parciales del agregado grueso convencional. Esta investigación tuvo agregado grueso en gradación de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% para grado M30 de hormigón, incluyendo estudios experimentales con densidad de 7, 14 y 28 días, fuerza de compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la fatiga. Concluyendo que un reemplazo del 10% de las cáscaras de coco tuvo resultados efectivos.

Los posibles pasos futuros para obtener más conocimiento sobre el uso de cáscaras y fibras de coco en pavimentos de hormigón asfáltico están considerando una investigación más profunda debido a su falta de información. Este artículo se centra en el uso de muchos materiales de desecho, donde todos estos son parte de un trabajo de investigación muy reciente por el cual la mayoría de los casos cumplieron con los requisitos en investigaciones de laboratorio en comparación con las muestras estándar de hormigón asfáltico. Será necesaria una investigación adicional en este ámbito para identificar las áreas donde se carece de información.

Las cáscaras de coco se han implementado en mezclas rígidas de pavimento en tamaños de 0.075 a 5 milímetros al 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 20%, 30% y 40% en peso. En relación con la fibra de coco, los estudios han demostrado que la incorporación de estas fibras al hormigón, en dosis del 0.5%, 1% y 1.5% en relación con el volumen del hormigón, los resultados y modificaciones de las propiedades físicas y mecánicas demuestran un desarrollo significativo en estabilidad, módulo de rigidez resistente y de

fluencia (Acosta & Yonel, 2019; Rahman et al., 2020; Ramadhansyah et al., 2020; SITI NUR AMIERA BINTI JEFFRY, 2015).

### **5. Cáscara de coco y fibra en el pavimento del bloque**

Esta categoría se refiere a artículos (1 total, 24) relacionados con el bloque de pavimento de enclavamiento verde sostenible utilizando cenizas de cáscara de coco como parte de su mezcla.

El artículo 24 desarrolló un producto innovador que aplicaba el uso de materiales de desecho como cáscaras de coco para su aplicación dentro del pavimento articulado. La composición química de la ceniza de cáscara de coco y cemento Portland se comparan para saber si es capaz de reaccionar como un buen aglutinante a la mezcla o no. La calidad del bloque se considera por su resistencia compresiva, absorción de agua y densidad a granel. Un total de 4 muestras fueron analizadas utilizando un tamaño agregado de 4.74 mm a 150 micras. Los especímenes fueron preparados con una proporción del 10%, 20% y 30% de ceniza de cáscara de coco reemplazando la cantidad de cemento. La relación de la mezcla de pavimento entrelazado fue de 1:2 que significa dos partes de arena y una parte de cemento. Todos estos fueron curados 28 días antes de la prueba de compresión. Los investigadores descubrieron que el valor de la densidad a granel se reduce a medida que aumenta el porcentaje de cenizas de cáscara y finalmente descubren que la ceniza adicional de la cáscara de coco en el producto redujo la resistencia a la compresión y aumentó el porcentaje de absorción de agua.

En cuanto a la falta de documentos encontrados para el uso de cáscaras y fibras de coco utilizadas en el pavimento articulado, es necesario hacer una investigación más detallada, profunda y extensa para buscar e investigar nuevos métodos de análisis y de aplicación para esta rama.

Las aceras de bloques o pavimentos articulados contienen hasta un 10%, 20% y 30% de cáscara de coco y fibra (como cáscara y ceniza de fibra), con el objetivo principal de producir un producto respetuoso con el medio ambiente con una buena calidad, bajo costo y ligero conocido como pavimento de enclavamiento verde. Durante las pruebas se observaron métodos en los que la densidad disminuye a medida que aumenta el porcentaje de ceniza de coco y la adición de cáscaras de coco (Kassim & Rohim, 2017).

#### **6. Coco en forma de ceniza / Nano materiales en pavimento flexible**

Esta categoría se refiere a artículos (5 en total, de 25 a 29) relacionados con la influencia de nano carbón (nano materiales) cenizas de cáscara de coco en las propiedades físicas, mecánicas y reológicas del betún.

El artículo 25 hace hincapié en la influencia del nano-carbono de la ceniza de cáscara de coco como modificador en las propiedades del betún. Diferentes porcentajes de este modificador se utilizaron en las diferentes mezclas de pavimento, 0%, 1.5%, 3%, 6% y 7.5% en peso de betún. Se realizó una prueba reológica mediante el uso de un reómetro dinámico de cizallamiento, rodando un horno de película delgada y muestras de recipientes envejeciendo la presión. Además, se realizó una microscopía de difracción de rayos X y fuerza atómica en las muestras obtenidas. Los investigadores revelaron que el nano carbono de las cáscaras de coco mejoró los parámetros de agrietamiento y fatiga del betún. Además, las propiedades de microestructura mostraron que el nano carbono retrasa el envejecimiento del betún y produce una estructura homogénea y aumenta las propiedades de cohesión y adherencia del betún.

El artículo 26 habla del efecto de las cáscaras de coco de ceniza de carbón a partir de material de desecho de diferentes tamaños en las propiedades físicas del betún. Se realizaron pruebas de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad para determinar las propiedades del aglutinante. Los tamaños de ceniza de carbón estudiados en el

laboratorio (<75 um, 75-100 um y 150-300 um) fueron utilizados y estudiados para reemplazar el betún en diferentes porcentajes (0%, 10%, 15% y 20%) por peso de aglutinante. Los resultados mostraron que el betún se volvió más viscoso y el punto de ablandamiento aumentó; mientras que la tasa de penetración disminuyó a medida que se añadió ceniza de carbón. Además, esta modificación alivió el efecto sobre el envejecimiento y el betún modificado mostró mejores resultados con el tamaño <75 um en comparación con los otros tamaños.

El artículo 27 muestra las características de la ceniza de cáscara de coco como relleno de material de sustitución en mezclas asfálticas porosas. Comúnmente la ceniza de piedra y cemento se utilizan como rellenos en mezclas asfálticas, por lo que se ha analizado la ceniza de cáscara de coco para convertirse en una de las alternativas. En este estudio, los investigadores pretenden utilizar el 50% de las cenizas de cáscara de coco como relleno en las características de las mezclas de asfalto poroso y averiguar pistas de deficiencias y fortalezas en la mezcla asfáltica. Se tomaron en cuenta diferentes métodos de prueba como la estabilidad Marshall, VIM, flujo, AFD y CL.

Los artículos 28 y 29 se centran en los efectos de la ceniza de coco-cáscara de nano carboncillo en las propiedades físicas y reológicas del betún y su rendimiento mecánico de la mezcla asfáltica. Esta investigación se centró en los residuos de cáscara de coco de carbón (1-100 nm) de tamaño nano dimensionado (NCA) como aditivo y una microscopía electrónica indicó que 15h de molienda de molino de bolas, produjo un promedio nano dimensionado de 57.7nm. Se utilizaron diferentes porcentajes de este nanomaterial (0%, 1.5%, 3%, 4.5%, 6% y 7.5%) por el peso del betún. Se realizaron pruebas de penetración, punto de ablandamiento, viscosidad, ductilidad y reómetro de cizallamiento dinámico para analizar e investigar sus propiedades físicas y reológicas. Se realizaron pruebas como análisis Marshall, resistencia a la tracción indirecta, módulo resistente y fluencia

dinámica teniendo en cuenta el 0%, 1.5%, 6% y 7.5% de la ceniza de coco-cáscara de nano carboncillo en la mezcla asfáltica. Los resultados obtenidos por los investigadores concluyeron que al agregar el 6% de la ANC, las propiedades de la mezcla asfáltica mejoraron significativamente.

Sobre la base de este estudio es posible analizar que hay un amplio conocimiento de esta rama de investigación acerca del uso de ceniza de cáscara de coco como relleno para pavimentos flexibles. Se recomienda realizar más investigaciones sobre este tema, ya que hay mucho más que descubrir.

Los nanomateriales son materiales de pequeño tamaño entre 1 y 100 nm, que producen una superficie mayor que los materiales de tamaño común. La cáscara de coco es uno de los materiales de desecho naturales que se utiliza como nano material debido a su resistencia y dureza. La adición de este material a la mezcla resultó en la mejora del parámetro de agrietamiento y fatiga del betún; además de retrasar el proceso de envejecimiento, que genera una estructura homogénea y aumenta la cohesión y adherencia del betún (Abdullah et al., 2017; Jeffry et al., 2020; Jeffry, Jaya, Abdul Hassan, et al., 2018; Jeffry, Jaya, Hassan, et al., 2018a, 2018b; Syammaun et al., 2019).

## DISCUSIÓN

A partir de la información obtenida y analizada, se decidió dividir en 6 subgrupos que tienen como objetivo específico el análisis de un estudio fijo basado en cada categoría. Los 6 subgrupos se dividieron en artículos científicos que contienen información detallada basada en los siguientes temas: cáscaras de coco en pavimentos flexibles, fibras de coco en pavimentos flexibles, cáscaras y fibras de coco en pavimentos flexibles, cáscaras y fibras de coco en pavimento rígido, cáscaras y fibras de coco en pavimento articulado (pavimento de bloque) y cáscaras de coco en forma de ceniza; con

el fin de obtener una mejor visión de los progresos realizados hasta ahora y así ser capaz de descifrar las brechas o espacios vacíos del conocimiento dentro de la literatura basados en este tema.

Los resultados encontraron que a pesar del hecho de que hay una amplia variedad de información, se necesita de futura investigación y análisis sobre el uso de cáscaras de coco y fibra en mezclas de pavimento. Las pruebas de laboratorio y los ensayos experimentales son necesarios para ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de este material natural con su uso en pavimentos.

Como se mencionó anteriormente, en la zona del pavimento flexible hay una gran cantidad de información sobre el uso de cáscaras y fibras de coco en mezclas bituminosas en las que se han realizado varias pruebas y ensayos para conocer sus propiedades y características mecánicas. Por otro lado, en pavimentos rígidos y articulados, no hay suficiente información. Los investigadores deben abarcar todas las áreas de conocimiento sobre este tema, ya que, al llevar a cabo la revisión literaria, sólo unos pocos artículos científicos se centraron en este tema.

Para pavimentos rígidos se sabe que las cáscaras de coco se reemplazan en un porcentaje específico en comparación con el agregado grueso que constituye una mezcla de hormigón, además de las propiedades mecánicas que la fibra de coco proporciona a la mezcla. Respecto a los pavimentos articulados, no se encontró suficiente información. Como hay muy pocos artículos científicos basados en este tema, se recomienda que esta rama tenga que ser investigada a mayor profundidad y llevarse a cabo un mayor número de ensayos y pruebas que marquen hitos en la incorporación tanto de cáscara y fibras de coco como parte del pavimento articulado.

En cuanto al uso de cáscara y fibra de coco para la mejora del suelo, se encontró una gran cantidad de información (25 artículos). Los suelos expansivos denotan

principalmente suelos arcillosos que tienden a hincharse y reducirse dependiendo de su contenido de humedad. Estos se consideran un peligro natural potencial que puede causar daños significativos a las estructuras si no se tratan adecuadamente, lo que conduce a problemas graves de construcción, económicos y sociales (Chakraborty & Roy, 2016).

En los artículos analizados sobre la base de la estabilización de los suelos con el uso de cáscara y fibra de coco, se llevaron a cabo una serie de pruebas que aseguran una mejora en las propiedades mecánicas del suelo, infiriendo que la cáscara de coco es eficaz para mejorar las propiedades del suelo expansivo, teniendo en cuenta que estos materiales de desecho son un método rentable y respetuoso con el medio ambiente (Athira T et al., 2017).

El uso de cáscara de coco en hormigón ha ganado fuerza en los últimos años debido a estar compuesto de materiales ligeros y ha ganado popularidad debido a su menor densidad y propiedades de aislamiento térmico superior (Gunasekaran et al., 2011). Las industrias de la construcción reconocen las economías inherentes y las ventajas que ofrecen estos materiales evidenciadas por sus estructuras de hormigón ligero (25-35% más ligeras). El hormigón ligero estructural (LWC) que contiene material de desecho natural como cáscara de coco, ofrece una increíble flexibilidad de diseño y ahorro de costos debido a la reducción de peso propio, una respuesta estructural sísmica impresionante, menores costos de cimentación y "elementos de hormigón prefabricado" que al ser ligeros, ofrece una reducción de los costos de transporte y colocación (Gunasekaran et al., 2011).

Debido al conocimiento del uso de cáscaras y fibras de coco en hormigón estructural y en la mejora del suelo, es posible e importante llevar a cabo una investigación rigurosa sobre el uso de estos materiales en el uso de pavimentos. Es necesario llevar a cabo más investigaciones para su uso y aplicación en carreteras de todo

el mundo, apostando así por una cultura más proactiva de atención y protección ambiental, proporcionando una ayuda eficiente, sostenible, rentable, económica y amigable para el medio ambiente.

## CONCLUSIÓN

Basándose en el trabajo, se llevó a cabo una amplia investigación sobre el uso de fibra y cáscara de coco como parte parcial de agregado grueso para su uso en pavimentos. Mediante la realización de esta revisión literaria, se pudo comprender que hay varios usos para los que este material natural puede ser utilizado para obras de construcción, especialmente en el área de carreteras. En cuanto a la información encontrada recientemente de varios artículos científicos publicados que tratan este tema, en los 6 subgrupos realizados a lo largo de este trabajo, se podrían apreciar las diferentes aplicaciones que se pueden hacer con este material natural. Se concluyó que estos desperdicios, que se consideran materiales de desecho, es posible darles un segundo uso para cumplir una función diferente. En base a lo que se ha analizado y estudiado en este trabajo, se puede decir que las cáscaras y fibras de coco pueden funcionar como un sustituto parcial del agregado grueso para varios tipos de pavimentos, logrando mejoras en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, proporcionando propiedades óptimas para su aplicación.

Es necesario aprender a reutilizar, reciclar y reutilizar materiales de desecho ya que ahora en esta nueva etapa, el planeta necesita nuestra ayuda y debemos hacer todo lo posible para reducir los altos niveles de contaminación e impacto ambiental. Debemos buscar nuevas alternativas para dejar un mundo mejor para las generaciones futuras. Es muy importante seguir informándonos y actualizándonos sobre nuevos métodos de construcción que beneficien y contribuyan a la industria de manera sostenible. Los

recursos naturales son escasos, por ende, es necesario buscar alternativas sostenibles que nos permitan seguir creciendo y desarrollándonos de manera eficiente. Es hora de hacer un cambio y centrarse plenamente en el área de la construcción sostenible y en su investigación para seguir desarrollando tecnología y nuevas y mejores técnicas de construcción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, M. E., Mad Rosni, N. N., Jaya, R. P., Yaacob, H., Hassan, N. A., & Agussabti. (2017). Effect of Charcoal Ash Coconut Shell from Waste Material at Different Size on the Physical Properties of Bitumen. *Key Engineering Materials*, 744, 121-125.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.744.121>
- Acosta, F., & Yonel, P. (2019). Incorporación de fibra de coco para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  para pavimentos rígidos Lima, 2019. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48356>
- Amiera Jeffry, S. N., Jaya, R. P., Manap, N., Miron, & Hassan, N. A. (2016). *The Influence of Coconut Shell as Coarse Aggregates in Asphalt Mixture*. Key Engineering Materials; Trans Tech Publications Ltd.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.700.227>
- Arriola Carrasco, G. G., Vásquez Mendoza, C. A., Romero Rodríguez, B. R., & Castro Jerónimo, H. R. (2020). *INFLUENCIA DE LA CÁSCARA Y FIBRA DE COCO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE*.  
<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/1506/2119>
- Athira T, Ashish Johnson, Sowmya V Krishnankutty, & FISAT. (2017). Expansive Soil Stabilization using Coconut Shell Powder and Lime. *International Journal of Engineering Research And*, V6(03), IJERTV6IS030512.  
<https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS030512>
- Bade, R., Sohailuddin, S., Khan, T., & Sheikh, E. I. (2016). *Effect Of Coconut Shell Ash On Properties Of Expansive Soils*. 03(12), 3.

- Bolden. (2013). UTILIZATION OF RECYCLED AND WASTE MATERIALS IN VARIOUS CONSTRUCTION APPLICATIONS. *American Journal of Environmental Sciences*, 9(1), 14-24. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2013.14.24>
- Chakraborty, A., & Roy, S. (2016). Study on the properties of expansive clayey soil using Coconut Husk Ash (CHA) as stabilizer. *ADBU Journal of Engineering Technology*, 4(0), Article 0.  
<http://journals.dbuniversity.ac.in/ojs/index.php/AJET/article/view/157>
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>
- F.Gutiérrez-Martín & M.F.Dahab. (1998). Issues of sustainability and pollution prevention in environmental engineering education. *Water Science and Technology*, 38(11). [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00664-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00664-7)
- Figueroa, J. F. N. (s. f.). *INCIDENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE COCO Y VALOR DE pH DE LA FUENTE HIDRICA, EN LOS TIEMPOS DE MEZCLA Y CURADO DE MICRO PAVIMENTOS*. 52.
- Girish, D., Reddy, S., & Chappidi, H. (2020). Partial Replacement of Stone Dust with Coconut Shell Charcoal Powder in Flexible Pavement. *Test Engineering and Management*, 83, 890-896.
- Guerra, M. A., & Gopaul, C. (2021). IEEE Region 9 Initiatives: Supporting Engineering Education During COVID-19 Times. *IEEE Potentials*, 40(2), 19-24.  
<https://doi.org/10.1109/MPOT.2020.3043738>
- Guerra, M. A., Murzi, H., Woods Jr, J., & Diaz-Strandberg, A. (2020). *Understanding Students' Perceptions of Dimensions of Engineering Culture in Ecuador*.

- Guerra, M. A., & Tripp, S. (2018). Theoretically Comparing Design Thinking to Design Methods for Large-Scale Infrastructure Systems. *DS 89: Proceedings of The Fifth International Conference on Design Creativity (ICDC 2018), University of Bath, Bath, UK*, 168-175.  
<https://www.designsociety.org/publication/40714/THEORETICALLY+COMPARING+DESIGN+THINKING+TO+DESIGN+METHODS+FOR+LARGE-SCALE+INFRASTRUCTURE+SYSTEMS>
- Guerra, M., & Abebe, Y. (2018). Pairwise Elicitation for a Decision Support Framework to Develop a Flood Risk Response Plan. *ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B Mech Engrg*, 5(011004).  
<https://doi.org/10.1115/1.4040661>
- Guerra, M., & Shealy, T. (2018). Teaching User-Centered Design for More Sustainable Infrastructure through Role-Play and Experiential Learning. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 144(4), 05018016.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000385](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000385)
- Gunasekaran, K., Kumar, P. S., & Lakshmiathy, M. (2011). Mechanical and bond properties of coconut shell concrete. *Construction and Building Materials*, 25(1), 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.053>
- Hadiwardoyo, S. (2013). Evaluation of the addition of short coconut fibers on the characteristics of asphalt mixtures. *Civil and Environmental Research*, Vo. 3, 2013.
- Haryati, Y., Norhidayah, A. H., Nordiana, M., Juraidah, A., Hayati, A. H. N., Ramadhansyah, P. J., Azman, M. K., & Haryati, A. (2019). Stability and rutting resistance of porous asphalt mixture incorporating coconut shells and fibres. *IOP*

*Conference Series: Earth and Environmental Science*, 244, 012043.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012043>

Isah, B., Mary, S., & Sharmila, R. (2018). Soil Stabilization Using Calcium Carbide Residue and Coconut Shell Ash. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, 2, 1039-1044.

Jamshidi, A., & White, G. (2020). Evaluation of Performance and Challenges of Use of Waste Materials in Pavement Construction: A Critical Review. *Applied Sciences*, 10(1), 226. <https://doi.org/10.3390/app10010226>

Jeffry, S. N. A., Jaya, R. P., Abdul Hassan, N., Yaacob, H., & Satar, M. K. I. M. (2018). Mechanical performance of asphalt mixture containing nano-charcoal coconut shell ash. *Construction and Building Materials*, 173, 40-48.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.024>

Jeffry, S. N. A., Jaya, R. P., Hassan, N. A., Yaacob, H., Mahmud, M. Z. H., & Al-Saffar, Z. H. (2020). The influence of nano-carbon from coconut shell ash as modifier on the properties of bitumen. *Road Materials and Pavement Design*, 0(0), 1-17. <https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1809502>

Jeffry, S. N. A., Jaya, R. P., Hassan, N. A., Yaacob, H., Mirza, J., & Drahman, S. H. (2018a). Effects of nanocharcoal coconut-shell ash on the physical and rheological properties of bitumen. *Construction and Building Materials*, 158, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.019>

Jeffry, S. N. A., Jaya, R. P., Hassan, N. A., Yaacob, H., Mirza, J., & Drahman, S. H. (2018b). Effects of nanocharcoal coconut-shell ash on the physical and rheological properties of bitumen. *Construction and Building Materials*, 158, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.019>

- Kanojia, A., & Jain, S. K. (2017). Performance of coconut shell as coarse aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, *140*, 150-156.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.066>
- Kassim, U., & Rohim, O. (2017). Sustainable green interlocking pavement block. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, *8*, 1-7.
- Li, J., Xiao, F., Zhang, L., & Amirkhanian, S. N. (2019). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. *Journal of Cleaner Production*, *233*, 1182-1206.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>
- Limantara, A. D., Winarto, S., Gardjito, E., Subiyanto, B., Raharjo, D., Santoso, A., Sudarmanto, H. L., & Mudjanarko, S. W. (2018). *Optimization of standard mix design of porous paving coconut fiber and shell for the parking area*. 020029.  
<https://doi.org/10.1063/1.5062655>
- Limantara, Arthur Daniel, Gardjito, E., Ridwan, A., Subiyanto, B., Raharjo, D., Santoso, A., Heryanto, B., & Sudarmanto, H. L. (2019). Comparative Study Of Bio-Asphalt, Coconut Shell Distillation TAR, And Plastic Road In Terms Of Construction, Economical, And Regulatory Aspects. *Journal of Physics: Conference Series*, *1364*(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012058>
- Maharaj, R., Ali, R., Ramlochan, D., & Mohamed, N. (2019). Utilization of coir fibre as an asphalt modifier. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, *35*(2), 59-74. <https://doi.org/10.1177/1477760618795996>
- Norhidayah, A. H., Haryati, Y., Nordiana, M., Idham, M. S. M. K., Juraidah, A., & Ramadhansyah, P. J. (2019). Permeability coefficient of porous asphalt mixture

containing coconut shells and fibres. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 244, 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012037>

Oda, S., Leomar Fernandes, J., & Ildefonso, J. S. (2012). Analysis of use of natural fibers and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 26(1), 13-20.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.030>

Olanipekun, E. A., Olusola, K. O., & Ata, O. (2006). A comparative study of concrete properties using coconut shell and palm kernel shell as coarse aggregates.

*Building and Environment*, 41(3), 297-301.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.029>

Oluremi, J. R., Osulale, O. M., & Adeoye, T. T. (2016). *Strength Development in Lateritic Soil Stabilised with Coconut Shell Ash for Highway Pavement Construction*. 8.

Rachman, F., & Syammaun, T. (2019). Evaluation of asphalt porous mixture properties due to addition of *Arenga pinnata* and coconut fibers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 674, 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012022>

Rahman, M. T., Mohajerani, A., & Filippo Giustozzi. (2020). Recycling of Waste Materials for Asphalt Concrete and Bitumen: A Review. *Materials*, 13(7), 1495. <https://doi.org/10.3390/ma13071495>

Ramadhansyah, P. J., Masri, K. A., Awang, H., Satar, M. K. I. M., Hainin, M. R., Norhidayah, A. H., Mohd Warid, M. N., Yaacob, H., & Juraidah, A. (2020). Short Term Aging Effect of Asphaltic Concrete Incorporating Charcoal Ash

- from Coconut Shell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 712, 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/712/1/012036>
- Ramírez, A. (2013). *La construcción sostenible*. 4.
- Ramli, R., Yahaya, N. N., Bakar, N. N. A. A., Dollah, Z., Idrus, J., & Abdullah, N. H. H. (2019). Effectiveness of crushed coconut shell and eggshell powder to act as subgrade stabilizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 1349, 012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012076>
- Shariati, M., Togholi, A., Sajedi, F., Ibrahim, Z., Koting, S., Mohamad, E., & Khorami, M. (2018). A review on pavement porous concrete using recycled waste materials. *Smart Structures and Systems*, 22, 433-440. <https://doi.org/10.12989/sss.2018.22.4.433>
- SITI NUR AMIERA BINTI JEFFRY. (2015). *PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE AC14 CONTAINING COCONUT SHELL AS COARSE AGGREGATE*. <https://sci-hub.se/http://eprints.utm.my/id/eprint/53802/25/SitiNurAmieraJeffryMFKA2015.pdf>
- Sumesh, C., Jayasree, P. K., & Balan, K. (2015). *DEVELOPMENT OF A COIR FIBRE-LATEX COMPOSITE (CFLC) SHEET FOR USE AS A SEPARATOR IN FLEXIBLE PAVEMENTS*. 10.
- Syammaun, T., Rachman, F., & Hidayat, R. (2019). *Characteristic of coconut-shell ash as filler and LDPE plastic waste as substitution materials of porous asphalt mixtures*. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C1003.1183S319>
- Ting, T L, Ramadhansyah, P. J., Norhidayah, A. H., Yaacob, H., Hainin, M. R., Wan Ibrahim, M. H., Jayanti, D. S., & Abdullahi, A. M. (2018). Effect of Treated Coconut Shell and Fiber on the Resilient Modulus of Double-layer Porous

Asphalt at Different Aging. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140, 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012065>

Ting, Tay Lay, Jaya, R. P., Hassan, N. A., & Yaacob, H. (2017). RESILIENT MODULUS OF DOUBLE LAYER POROUS ASPHALT: APPLICATION OF ALKALI TREATED COCONUT SHELL AND FIBER AS AGGREGATE REPLACEMENT. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 29.

<https://doi.org/10.11113/mjce.v29.15692>

Ting, Tay Lay, Jaya, R. P., Hassan, N. A., Yaacob, H., & Jayanti, D. S. (2015). A REVIEW OF UTILIZATION OF COCONUT SHELL AND COCONUT FIBER IN ROAD CONSTRUCTION. *Jurnal Teknologi*, 76(14), Article 14.

<https://doi.org/10.11113/jt.v76.5851>

Yerramala, A., & C, R. (2012). Properties of Concrete with Coconut Shells as Aggregate Replacement. *International Journal of Engineering Inventions*, 1, 21-31.

Zhao, Z., Xiao, F., & Amirkhanian, S. (2020). Recent applications of waste solid materials in pavement engineering. *Waste Management*, 108, 78-105.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.024>