



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3.2002>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de revisión

Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz

Composite materials of polymer reinforced with cabuya and coconut fiber applied to the automotive sector

Materiais compósitos poliméricos reforçados com cabuya e fibra de coco aplicados ao setor automotivo

Alexander Montufar-Marcalla ^I

amontufar@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8303-9127>

Abel Remache-Coyago ^{II}

apremache@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6863-4104>

Correspondencia: amontufar@uce.edu.ec

***Recibido:** 20 de mayo del 2021 ***Aceptado:** 15 de junio del 2021 * **Publicado:** 05 de julio del 2021

- I. Ingeniero Automotriz, Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador.
- II. Master Universitario en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética, Magister en Gerencia y Liderazgo Educativo, Ingeniero Automotriz, Universidad Central del Ecuador, Postgrado Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador.

Resumen

La fibra natural es un recurso que se encuentra en abundancia y es rentable. Se descompone fácilmente y es biodegradable. Los compuestos de fibras naturales han ganado mucha atención por parte de los investigadores. Los refuerzos de fibras naturales más utilizados en compuestos para automóviles son yute, abacá, cabuya, coco y kenaf, etc. Los materiales compuestos juegan un papel vital en el mundo de la fabricación actual debido a su peso ligero con una resistencia razonable. Para mejorar las características particulares de una fibra, se hibridan varias fibras y se tratan químicamente en fin de los materiales compuestos. La fibra de coco, y fibras de agave que se preparan en forma de matriz, se mezclan con resinas apropiadas para lograr una unión adecuada del material, donde los resultados de la experimentación se comparan con otros tipos de compuestos poliméricos reforzados. Aquí se presenta múltiples propiedades derivadas de la caracterización mecánica, se aprecian estudios de microestructura en las muestras donde se identifica la elección de la fibra, el relleno, el aglutinante, el tamaño de partícula y la composición juegan un papel importante para la optimización en los materiales. La interpretación de los resultados depende de la aplicación buscada en la industria automotriz y que en esta revisión muestra las opciones más actuales para futuras investigaciones.

Palabras clave: Fibra natural; propiedades mecánicas; fibra de coco; fibras de agave; aplicaciones automotrices.

Abstract

Natural fiber is a resource that is in abundance and is profitable. It decomposes easily and is biodegradable. Natural fiber composites have garnered a lot of attention from researchers. The most used natural fiber reinforcements in car composites are jute, abaca, cabuya, coconut and kenaf, etc. Composite materials play a vital role in today's manufacturing world due to their light weight with reasonable strength. To improve the characteristics of a fiber, several fibers are hybridized and chemically treated in the end of the composite materials. Coconut fiber, and agave fibers that are prepared in the form of a matrix, are mixed with appropriate resins to achieve a suitable bond of the material, where the results of experimentation are compared with other types of reinforced polymeric compounds. Here, multiple properties derived from mechanical characterization are presented, microstructure studies are appreciated in the samples where the choice of fiber, filler, binder, particle size and composition play an important role for optimization in the materials. The interpretation of the results depends on the application sought in the automotive industry and that this review shows the most current options for future research.

Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz

Keywords: Natural fiber; mechanical properties; coconut fiber; agave fibers; automotive applications.

Resumo

A fibra natural é um recurso abundante e rentável. Ele se decompõe facilmente e é biodegradável. Os compostos de fibra natural têm atraído muita atenção dos pesquisadores. Os reforços de fibra natural mais comumente usados em compostos automotivos são juta, abacá, cabuya, coco e kenaf, etc. Os materiais compostos desempenham um papel vital no mundo da fabricação de hoje devido ao seu peso leve e resistência razoável. Para melhorar as características particulares de uma fibra, várias fibras são hibridizadas e tratadas quimicamente no final dos materiais compósitos. A fibra de coco e as fibras de agave que são preparadas na forma de uma matriz, são misturadas com resinas apropriadas para obter uma adesão adequada do material, onde os resultados da experimentação são comparados com outros tipos de compostos poliméricos reforçados. Aqui, múltiplas propriedades derivadas da caracterização mecânica são apresentadas, estudos de microestrutura são apreciados nas amostras onde a escolha da fibra, carga, ligante, tamanho de partícula e composição desempenham um papel importante para a otimização dos materiais. A interpretação dos resultados depende da aplicação buscada na indústria automotiva e que esta revisão apresente as opções mais atuais para pesquisas futuras.

Palavras-chave: Fibra natural; propriedades mecânicas; fibra de coco; fibras de agave; aplicações automotivas.

Introducción

El mundo de hoy es 1,1 ° C más cálido que en la época preindustrial. Las consecuencias de este calentamiento son enormes, como se ve en el aumento de inundaciones e incendios intensos y eventos climáticos extremos de la última década. El aumento del nivel del mar, la retirada de los casquetes polares y el coral moribundo son los impactos más visibles del calentamiento del planeta (Vögele et al., 2020). Por otro lado la creciente sensibilidad hacia la contaminación ambiental y las recientes leyes de protección ambiental, han llevado a una creciente atención a los llamados biocomposites, es decir, a materiales compuestos ecológicos o renovables, obtenidos a partir de biopolímeros reforzados con fibras naturales (B. Zuccarello & Zingales, 2017).

La utilización de materiales sintéticos estimula las preocupaciones ambientales, y los investigadores de todo el mundo están reaccionando eficazmente a las preocupaciones ambientales mediante la transición hacia materiales biodegradables y sostenibles (Khalid et al., 2021). En las últimas décadas, los investigadores

encontraron muchas dificultades al proporcionar materiales de apoyo ambiental para la fabricación de productos. Las fibras naturales poseen muchas ventajas sobre las fibras sintéticas, tales como facilidad de disponibilidad, biodegradabilidad, bajo costo, menor densidad, riesgos mínimos para la salud y de naturaleza ecológica. Los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales son la nueva clase innovadora de materiales sostenibles que tienen buenas propiedades mecánicas para aplicaciones prácticas (Kicińska-Jakubowska et al., 2012). Las industrias aeroespacial y automotriz actuales buscan cambiar los materiales convencionales, que son materiales de alta densidad, por materiales compuestos para reducir el peso total del vehículo y aumentar su rendimiento (Verma & Senal, 2019; Karthi et al., 2019). Normalmente, otros factores, como la edad, madurez, ubicación y métodos de procesamiento de la fibra, junto con la fuente de la fibra, también influyen en la resistencia a la tracción de la fibra. Estas propiedades de las fibras naturales lo convierten en un componente vital en aplicaciones de ingeniería. Las fibras naturales satisfacen las necesidades de los seres humanos y la industria manufacturera con su efecto ambiental positivo y perspectivas económicas (Sathishkumar et al., 2020; Bajwa & Bhattacharjee, 2016). Las fibras naturales, que son una parte importante del entorno humano, también son materias primas valiosas que se utilizan para la producción textil y no textil. La diversidad de formas y formas de las fibras naturales se debe a su presencia en diferentes zonas climáticas. La abundancia de fuentes de fibra despierta interés y brinda la oportunidad de realizar estudios más completos y, a continuación, encontrar nuevas aplicaciones para las fibras en la industria (Kicińska-Jakubowska et al., 2012). La adición de materiales hechos de fibras naturales promete ser rentable en el pasado reciente, particularmente en el que se consideraron los residuos agrícolas. Las fibras naturales de los residuos de los desechos agrícolas, como la cáscara de arroz, el plátano y la fibra de coco, son dominantes en la literatura para aplicaciones industriales en la comunidad de compuestos poliméricos (Motaung et al., 2017). También las fibras naturales como el yute y el sisal se han utilizado durante años en varias aplicaciones, como cuerdas, materiales de construcción, tableros de partículas, etc. La ausencia de información esencial en la preparación de los materiales reforzados con fibras naturales sigue siendo un desafío para futuras aplicaciones. Los tratamientos químicos y las modificaciones de la superficie pueden mejorar la calidad de las fibras naturales (Khalid et al., 2021; Subash et al., 2018).

Si bien el aporte de diversos trabajos reportados en la literatura, enfocados en biocomposites reforzados con fibras de agave, dichos materiales aún se utilizan exclusivamente en la industria automotriz para aplicaciones no estructurales, y la implementación de biocomposites de alto desempeño para aplicaciones

Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz

semiestructurales y estructurales, es un objetivo esperado, pero aún no alcanzado (B. Zuccarello & Zingales, 2017; Koodalingam et al., 2020).

Los biopolímeros más investigados incluyen la familia de poli (hidroxibutirato-cohidroxivalerato) (PHBV), polilactidas (PLA), policaprolactona (PCL) y poli (butilenosuccinato) (PBS). Hay varios métodos reportados en la literatura que se utilizaron para fabricar biocompuestos basados en fibras, incluyendo fundición en solución, moldeo por compresión, extrusión por fusión y polimerización en emulsión. Algunas de las aplicaciones potenciales de los compuestos reforzados con fibras naturales en la industria del automóvil incluyen paneles de instrumentos y puertas, bandejas para paquetes, guanteras, reposabrazos y respaldos de los asientos (Motaung et al., 2017). Por otro lado los termoplásticos reforzados con fibras híbridas parcialmente ecológicas con fibras naturales para mejorar las propiedades mecánicas (Vijayakumar et al., 2014). También el uso de geo polímeros como matriz en composites con fibras naturales, está aumentando en la industria automotriz (Correia et al., 2013). Así mismo los materiales compuestos a base de polímero y partículas de fibras naturales como el material en polvo de fibras naturales Sisal (Agave sisalana), Plátano (*Musa sepientum*) y Roselle (*Hibiscus sabdariffa*), Sisal y plátano (híbrido), Roselle y plátano (híbrido) y Roselle y sisal (híbrido) se fabrican con polímero usando el método de moldeo, esta invención se centra en búsqueda de variedad de productos en automoción (Chandramohan, 2014; Santhanam et al., 2020).

Tabla 1: Aplicaciones actuales de los compuestos de biofibras en la industria automotriz (Bajwa & Bhattacharjee, 2016; Lohar et al., 2020).

Empresa	Modelo	Biofibras	Matriz	Aplicaciones
Audi	A2, A3, A4, A6, A8, Roadster, Cupé, Q7	Fibra de madera, lino, cabuya	PP, epoxi, PUR	Respaldos de los asientos, paneles de las puertas traseras y laterales, forro de maletero, perchero, forro de llanta de repuesto.
BMW	3, 5 y 7 series	Kenaf, lino, cáñamo, fibra de madera	PP	Paneles embellecedores de puerta, panel de techo interior, revestimiento maletero, respaldos de los asientos, paneles de aislamiento acústico, tablero, paneles de puertas interiores de fibra de madera
Chrysler	Sebring	Flax, cabuya, Abacá	PP	Paneles de puerta, Cojín de asiento, reposacabezas
Fiat	Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156	Lino, Sisal, Cáñamo, Algodón, Fibra de coco	PP	Revestimiento de puertas, revestimientos de respaldo y piso, paneles, fondos de asientos, cojines de respaldo y reposacabezas.
Ford	Flex, Ford Focus BEV, Freestar	Fibra de madera, Trigo, Paja, fibra de coco, soja, paja de arroz	PP, PUR	Contenedores de almacenamiento interiores, piso de carga, espuma de asientos, reposacabezas, techo interior.

Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz

Mercedes Benz	Clase A, Clase C, Clase E, Clase M, Clase R Clase S	Abacá / plátano, cáñamo, lino, sisal, yute	PUR, PP, Epoxy	Paneles de puerta, cojín del asiento, reposacabezas, Paneles de los bajos, respaldos de los asientos, tapa de llanta de refacción, tapa motor y transmisión.
Toyota	Lexus CT 200, Prius, Raum	Kenaf, bambú, Polvo de coco	PET, Sorona, EP, PP, PLA	Maletero, altavoces, suelo alfombrillas, panel de instrumentos, ventilación aire acondicionado, cubierta de llanta de repuesto, estantes.

PP: polipropileno, PUR: poliuretano, PLA: ácido poliláctico, PBS: succinato de polibutileno, PET: tereftalato de polietileno, Sorona, EP-poli (tereftalato de trimetileno)

Las técnicas computacionales se han convertido en una herramienta importante en manos de muchos investigadores para modelar y analizar las características que influyen en las propiedades mecánicas de los compuestos de fibras naturales. Esta tendencia reciente ha llevado al desarrollo de muchas técnicas computacionales avanzadas y software para una comprensión profunda de las características y el comportamiento de rendimiento de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales. Las grandes variaciones en las características de los compuestos a base de fibras naturales presentan un gran desafío, que ha llevado al desarrollo de muchas técnicas computacionales para el análisis de materiales compuestos (Mulenga et al., 2021; Yashas Gowda et al., 2018).

El objetivo de esta revisión fue proporcionar información básica y un estudio segregado sobre las diversas propiedades de los materiales compuesto para nuestro caso de estudio de las hojas representativas como es el caso de la cabuya o agave, como también extraídas de fibras de fruta tomadas de la corteza del coco. Esta información fue tomada de bases de datos como Scopus, Francis y Taylor, MDPI journals, Scielo y Google Scholar con respecto a las aplicaciones automotrices derivados de estos materiales importantes. Y obedecen al criterio seleccionado a elementos automotrices o aplicaciones más comunes de esta industria. La sintaxis de búsqueda se basó en títulos de artículos, resúmenes y palabras clave (temas). Los cinco sistemas de información solo pueden compararse de forma coherente sobre la base de los títulos de los artículos. La interpretación de los resultados depende de la consulta (selección de términos de búsqueda, campos y sintaxis de búsqueda) y la base de datos o el sistema de información bajo análisis (Bartol & Mackiewicz-Talarczyk, 2015).

Metodología

Fibra de coco

Los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales utilizan fibras naturales o desechos agrícolas como cáscara de arroz, fibra de bagazo, fibra de coco, etc., como refuerzo en el material de matriz

polimérica. Estos materiales de matriz pueden ser de tipos termo endurecibles, termoplásticos o biodegradables. Las propiedades de peso ligero de estos compuestos son utilizadas principalmente por las diversas industrias del automóvil específicamente para fabricar las partes externas e interiores del automóvil (Verma et al., 2017). Con el crecimiento creciente de la población vehicular, existe una demanda creciente de materias primas. Los plásticos reforzados con fibra (FRP) han reemplazado a los materiales de ingeniería especialmente en el campo de los automóviles. Con la creciente demanda, se están incorporando diversas modificaciones en los FRP convencionales para aplicaciones específicas con el fin de reducir costos y alcanzar los estándares de calidad (Dhawan et al., 2013). La única desventaja de las fibras naturales es que no están disponibles en longitudes continuas. A pesar de esta deficiencia, las fibras naturales tienen una alta fuerza para construir materiales compuestos de ingeniería híbrida (Vaidyanathan et al., 2011).

- ***Propiedades mecánicas de los compuestos de fibras de coco***

La fabricación de compuestos es una rama novedosa de la ciencia y, a menudo, encuentra numerosas aplicaciones en varias industrias. Las resinas de poliéster y epoxi se reforzaron con fibras de coco, vidrio E y yute de 5-6 mm de longitud y se prepararon mediante el método de laminado manual. La fibra y la resina se tomaron en porcentajes en peso de 18:82. En comparación con los compuestos fabricados, el compuesto reforzado con fibra artificial, los compuestos epoxi reforzados con fibra de vidrio E exhibieron valores superiores de resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, resistencia al impacto y dureza. Entre los compuestos reforzados con fibra natural, los compuestos reforzados con fibra de coco exhibieron una mejor resistencia a la tracción, impacto y dureza que sus contrapartes compuestos reforzados con yute (Gopinath et al., 2018). Por otro lado, los compuestos de FRP de vaina de hoja de coco al 12,83%, 11,06% en peso de fracciones han mostrado resistencia a la tracción, módulo de 17,73 MPa, 254,21 MPa respectivamente. La resistencia al impacto Charpy de los compuestos aumenta con su contenido de 1,93 a 5,36 kJ / m². Los resultados de esta experimentación tienen claro que el rendimiento mecánico de los composites aumenta con el número de capas. Por lo tanto, este tipo de materiales compuestos ligeros se puede utilizar para fabricar diversas partes de automóviles (Srinivasababu, 2017). Kumar et al., (2018) también probó ciertas propiedades especiales como alta resistencia, mayor flexibilidad y abundantes propiedades disponibles y especiales para diferentes aplicaciones en automóviles. Con la ayuda de diferentes combinaciones y proporciones, estos materiales fueron reforzados con diferentes materiales combinacionales que se obtuvieron para probar y seleccionar el mejor material de combinación y se determinó la relación señal / ruido utilizando el software estadístico como también se compararon los resultados (Kumar et al., 2018).

Figura 1: Deformación tensión de flexión polímero reforzado fibra de coco (Gopinath et al., 2018).

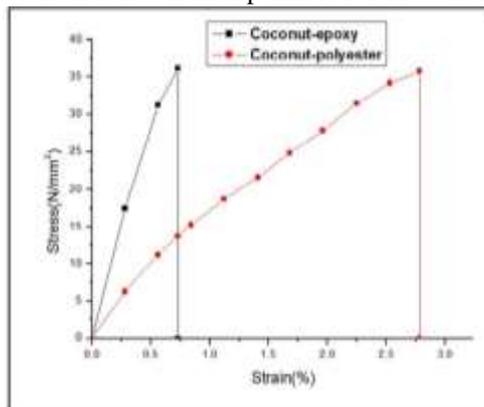
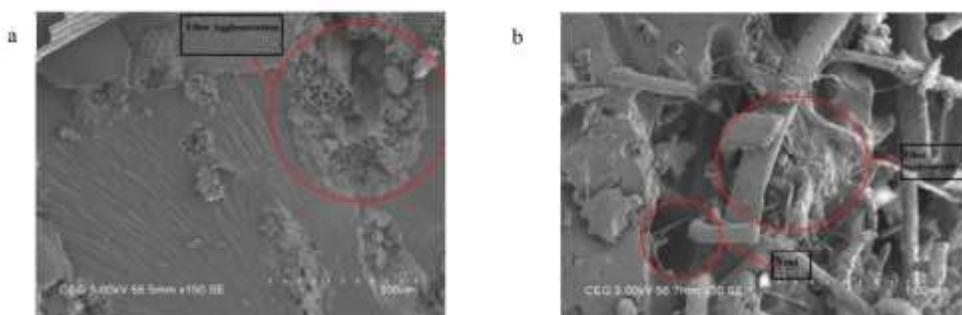


Figura 2: (a) Imagen SEM de un compuesto epoxi reforzado con fibra de coco; (b) Imagen SEM de fibra de coco reforzada compuesto de poliéster (Gopinath et al., 2018).



La moda tecnológica relacionada con la utilización de residuos y la reducción de costos en el procesamiento industrial de los compuestos reforzados con fibra a base de plantas ambientales. La fabricación de materiales compuestos se lleva a cabo con la fracción volumétrica de 40%, 30%, 20% de material de refuerzo de Coconut Shell Powder (CSP), Rice Husk Powder (RHP) y 60%, 70%, 80% de material matriz de Vinilo Ester (VE) y Super Vinyl Ester (SVE). La fabricación se lleva a cabo mediante el método de colocación manual. Se han evaluado propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión de los compuestos fabricados para establecer la posibilidad de utilizarlo como un nuevo material para aplicaciones de ingeniería (Sundarababu et al., 2020). Por otro lado, los rellenos naturales en plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV). Para estudiar el efecto de la matriz sobre las propiedades de los PRFV, se han utilizado resinas de poliéster y epoxi. Se ha descubierto que los rellenos naturales proporcionan mejores resultados en compuestos a base de poliéster. Entre las cargas naturales, en general, los compuestos con fibra de coco tienen mejores propiedades mecánicas en comparación con las otras cargas en los compuestos de vidrio / epoxi (Dhawan et al., 2013).

- ***Factores que afectan las propiedades mecánicas de la fibra de coco y compuesto de polímero reforzado***

Los materiales compuestos están hechos de materiales naturales como un compuesto de matriz de polímero híbrido. Los diferentes materiales como fibra de coco, lino y fibras de vidrio que se fabricaron a partir del material natural se prepararon en forma de matriz y se mezclaron resinas apropiadas. También, por otro lado, el uso de líquido de cáscara de anacardo (CNSL) en la posición de fenol, conversión de sustancia sintética. Entonces, cuando se agrega este CNSL con el lino y las fibras de vidrio, se obtiene una excelente resistencia al material. La fibra también se trató con una solución de NaOH que se utilizó al 5%, 15% y 20% y se aumentó el tiempo de duración del tratamiento a 72 h con el fin de aumentar la resistencia del material compuesto. Para encontrar el mejor porcentaje de la prueba mecánica de resistencia a la flexión se llevó a cabo con la ayuda de cambiar la concentración en el momento del tratamiento con NaOH y, además, se llevó a cabo una prueba estadística llamada Análisis de varianza para probar el nivel de significancia de la resistencia a la flexión del material compuesto hecho de fibras naturales (Kumar & Venkatesh Babu, 2020). La industria automotriz se mira beneficiada por la fabricación de cualquier tipo de componente. La fibra natural como cáñamo / lino, fibra de coco con diferentes combinaciones necesita ser tratada químicamente para mejorar la mejor unión entre la superficie de la fibra y la matriz del polímero. Las fibras naturales que se tratan químicamente presentan mejores y mejores propiedades que las fibras sin tratar. Por lo tanto, los refuerzos de fibra natural habían dado los mejores resultados en impacto, tenacidad / resistencia. Esta investigación experimental explica la investigación y el mejor desarrollo de las propiedades mejoradas de las fibras (Arul Murugan & Kumar, 2018).

- ***Aplicación para reducir el ruido, vibración y aspereza***

La espuma de poliuretano es trabajada usando la técnica de moldeo por inyección de reacción haciendo reaccionar polioliol con isocianuro. La fibra se añadió a los productos químicos antes de la reacción. Los resultados de la prueba mostraron una mejora en las propiedades físicas, propiedades dinámicas y comportamiento NVH aceptado. Se finalizó una relación basada en el mejor equilibrio entre propiedades y viabilidad de producción. Posteriormente, el composite se validó en vehículo, que mostró una mejora con respecto a la espuma de PU pura (Krishnamoorthy & Saishanker, 2016). En la actualidad, las espumas sirven para envases o para aislamiento térmico y acústico para aplicaciones ecológicas. Este trabajo caracteriza la espuma reciclada-HDPE / EVA reforzada con residuos de fibra de epicarpio de coco. En primer lugar, mediante un proceso de extrusión por fusión se obtuvieron compuestos a base de una mezcla reciclada de HDPE / EVA reforzada con fibra de coco. A continuación, los materiales compuestos se

extruyeron en un solo tornillo especial para hacer espuma. Las muestras de espuma se sometieron a pruebas mecánicas, medición de densidad, análisis DSC, TG y FE-SEM (Arantes et al., 2018). También se puede decir que las espumas de poliuretano se utilizan ampliamente como materiales fonoabsorbentes acá se trabajó de forma compuesta con un mejor coeficiente de absorción acústica en el rango de baja frecuencia. Las espumas compuestas se fabrican con dos materiales de relleno diferentes, como caucho granulado y fibra de coco, en una fracción de peso variable de hasta un 2,0%. Se realizaron mediciones de densidad, coeficiente de absorción acústica y reducción de ruido. La espuma de poliuretano de caucho granulado al 1,4% ofrece la mejor combinación de baja densidad, valor mejorado del coeficiente de absorción acústica y absorción de ruido a baja frecuencia (Gananasekaran et al., 2019).

- *Accesorios para automóviles*

Las fibras se tratan en una solución alcalina y los compuestos se fabrican mediante el método de laminado manual, se utiliza resina epoxi como matriz. Se analiza el potencial para utilizar estos compuestos de fibras naturales en diversas aplicaciones de automóviles. Estos compuestos de fibras naturales se pueden utilizar para fabricar diversos accesorios para automóviles. Compuestos de fibras naturales. al ser menos denso, se puede utilizar para fabricar piezas ligeras (Abhemanyu et al., 2019). Además, se pueden producir los compuestos poliméricos con un sistema de moldeo en sándwich de compuestos híbridos de polímero de fibra natural (H-NFPC) que formaría la tecnología básica de paneles / pieles de carrocería de automóviles moldeados compuestos. La construcción propuesta tendría un NÚCLEO central más dos revestimientos exteriores. La construcción de Central CORE es el factor principal que determina las propiedades finales del material compuesto y su costo de fabricación. Las "pieles" de fibra de alta resistencia pueden ser de fibra de vidrio o de fibra de vidrio hibridadas con un sistema de fibra de carbono. Las plantaciones de banano, coco o palma desechados, pueden convertirse en sistemas estructurales especialmente diseñados que a su vez reducen la contaminación (Vaidyanathan et al., 2011).

Hoy en día, los compuestos reforzados con fibra de matriz polimérica tienen una mayor atención en muchos sectores de fabricación. Los compuestos de matriz polimérica se prepararon y desarrollaron mediante un proceso de laminado manual con fibra de coco corta tratada. Los experimentos se llevaron a cabo de acuerdo con el diseño giratorio de segundo orden compuesto central. La optimización se ha llevado a cabo utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM). Se examinó la morfología de las superficies desgastadas mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) y se discutieron varios mecanismos de desgaste (Rajasekhar et al., 2017). Debido a la baja gravedad específica, la relación de peso de resistencia y la relación de peso de módulo de estos materiales compuestos son notablemente superiores a las de los materiales

metálicos. En este trabajo se preocupa por el comportamiento de flexión de la placa compuesta tipo sándwich tipo panal de abeja. Para la fabricación de placas compuestas se utilizan yute y fibra de vidrio como refuerzo, resina de uso general como matriz y médula de bonote, aserrín como relleno. De los resultados se observa que la placa compuesta rellena con serrín y fibra de coco muestra una mejor resistencia a la flexión de hasta un 18% que la placa compuesta vacía (Sathish Kumar et al., 2020).

Los productos poliméricos se han aplicado en todas las esferas de la vida y su eliminación después de su uso ha sido un problema. Exploramos una forma de reciclar bolsas de agua en bolsitas y cáscara de coco para producir un producto útil. Se formó un material compuesto fundiendo el polietileno, en el que se dispersó fibra de coco, y luego se dejó fraguar. El aumento del contenido de fibra aumentó la carga necesaria para comprimir la muestra, lo que indica un aumento en la resistencia del compuesto. La capacidad de carga aumentó en un 120% cuando se añadieron 450,5 g de fibra a la muestra de control, y aumentó aún más al 800% cuando la masa de fibra se incrementó a 804,4 g. Con una cantidad de 100 g de fibra añadida al polietileno, la flexión aumentó aproximadamente un 5,73% y aproximadamente un 31,46% cuando se añadieron 450 g de fibra. Por lo tanto, hubo una mejora en las propiedades mecánicas del material compuesto formado y, en consecuencia, dichos productos de desecho se pueden utilizar en aplicaciones como la producción de techos, tableros de división, interiores de automóviles y similares (Amoako et al., 2018).

- *Aplicado en sistemas de frenos*

La industria automotriz ha aumentado el uso de aluminio en vehículos ligeros para reducir el peso del automóvil y mejorar la eficiencia del combustible, acá se desarrolló un nuevo compuesto de aluminio reforzado con fibra natural para discos de freno de automoción. Se prepararon diferentes formulaciones de laboratorio con diferentes fibras de coco, modificadores de fricción, material abrasivo y lubricante sólido utilizando la técnica de la metalurgia en polvo para el desarrollo de nuevos compuestos de aluminio reforzado con fibra natural. El análisis llevó a que la fibra de coco natural es un candidato potencial como fibra o material de relleno para el disco de freno automotriz (Crăciun & Pinca-Bretotean, 2016).

La investigación utilizando combinaciones de cargas y fibras en diferentes proporciones con el fin de seguir estudiando sus efectos sobre las propiedades de las pastillas de freno utilizando diversas mezclas para la producción. También se investigó la influencia de diferentes aglutinantes como resina fenólica, resina epoxi y otros. Se ha visto que los materiales compuestos de fibra y cargas mejoran las propiedades mecánicas de los compuestos, reducen los costos y aumentan la resistencia al impacto. Con el fin de obtener mejores

propiedades físicas, se estudiaron pastillas de freno de fibra de palmiste y fibra de coco y se optimizó el porcentaje de composición (Ige et al., 2019).

- ***Aplicación en el revestimiento de embrague***

La idoneidad del compuesto a base de fibra natural como material de revestimiento en el embrague de fricción en seco de placa única en automóviles mediante la comparación de sus propiedades mecánicas. El compuesto de polvo de cáscara de coco / fibra de coco / resina epoxi en lugar del asbesto como material de revestimiento del embrague comparando sus propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, dureza y resistencia a la flexión mediante la realización de diferentes pruebas en el compuesto fabricadas en el laboratorio con diferentes proporciones de ingredientes (Sundarapandian & Arunachalam, 2020). También se aprecia la viabilidad de utilizar material compuesto a base de fibra de coco respetuoso con el medio ambiente como material de revestimiento de embrague. Esto se ha realizado mediante el modelado y análisis de revestimientos de embrague hechos de acero estructural y material compuesto a base de fibra de coco utilizando el software Solid Works y ANSYS Workbench, respectivamente. Se ha realizado una comparación adicional de las propiedades mecánicas de los revestimientos de embrague hechos de acero estructural y material compuesto a base de fibra de coco (Arunachalam & Pandian, 2016).

- ***Aplicación en descontaminación del agua***

El potencial de contaminación en el agua de lavado de estaciones de servicio de automóviles y forma de tratar se analiza a través del agua de lavado donde se recogió en el punto de servicio del taller de automóviles y las características son PH-7.80, TDS-1260mg / l, TSS-60mg / l, Turbidez-89.7NTU, TH-484mg / l, O & G-16mg / l, PLOMO-0,005 mg / l, NITRATO-1 mg / l, DO-3 mg / l, FOSFATO-0,29 mgt / l, DBO-180 mg / l, DQO-584 mg / l. Se proceso la filtración con varias proporciones utilizando en el filtro-1 (fibra de coco 1 cm, arena 2 cm, carbón activado 3 cm, guijarro 3 cm). Filtro 2 (coco fibra 1cm, arena 2cm, cáscara de coco 3cm, guijarro 3cm). Los resultados se analizaron en el Filtro-1 después del tratamiento el% de remoción es PH-7.69%, TSS-10%, TDS-17.46%, Turbidez- 69.89% , TH-42.14%, DO-13.33%, DQO-31.28%, DBO-45.87%, O & G-46.87%, VS-72.10%. En Filtre-2 después del tratamiento la remoción es PH-7.82%, TSS-3.33% , TDS-21,42%, Turbidez-60,98%, TH-22,72%, DO-17,77 (-)%, DQO-29,57%, DBO-53,79%, O & G-38,75%, VS-71,7%. Los gráficos comparativos se dibujaron entre (Filtro-1 y Filtro-2) a partir del gráfico que muestra la mejor efectividad del filtro-1 y el diseño de muestra configurado en un implemento de agua de lavado de automóviles (Nimal & Fathima, 2018).

- ***Aplicado en sistemas de suspensión del vehículo***

En el mundo actual, la necesidad de automóviles coincide con la necesidad de reducir su peso. Se demuestra el diseño y análisis de una ballesta compuesta de matriz compuesta de poliéster reforzado con coco. El objetivo principal es reducir el peso de un automóvil reemplazando su ballesta de acero por ballesta compuesta que produciría la misma deflexión cuando la carga aplicada es constante y comparar sus méritos y deméritos relativos. El modelado de ballestas se realiza con SOLIDWORKS y el análisis se realiza con ANSYS (Narendiranath Babu et al., 2017).

- ***Aplicado en sistemas de blindaje de vehículos***

La aplicación de NLF como refuerzos en compuestos poliméricos se ha incrementado en muchos sectores industriales. Se realizaron pruebas de extracción para comparar la adhesión interfacial con la resina epoxi de hojas de piña (PALF) y el mesocarpio del fruto del coco (fibra de coco) que tienen características muy diferentes. Los resultados mostraron una longitud crítica 70% más alta para la fibra de coco en comparación con PALF y una resistencia interfacial 3,5 veces más pequeña, lo que indica una adhesión más fuerte de PALF con resina epoxi. También se realizaron pruebas mecánicas tanto en fibra de coco como en compuestos PALF. En estas pruebas se observó la superioridad de las propiedades mecánicas del composite reforzado con 30% en volumen de PALF. Además, se realizaron pruebas balísticas. En esta evaluación, se utilizaron materiales compuestos en un MAS tipo III contra la munición de 7,62 mm. Los resultados revelaron una profundidad de penetración relativamente baja (18,2 mm) para el MAS con compuesto PALF, así como una profundidad de penetración (31,6 mm) para MAS con compuesto de coco, ambos considerados eficientes según el estándar de armadura personal (Luz et al., 2018).

- ***Material Híbrido de coco***

Los compuestos de matriz metálica a base de Al tienen aluminio como metal de matriz que tiene propiedades que son de alta resistencia a la relación peso y peso ligero. Se desarrolló un compuesto de matriz metálica a base de aluminio (MMC) reforzado con cenizas de fibras naturales, estamos utilizando cenizas finas de caña de azúcar (bagazo), ceniza de cáscara de maní (GSA), ceniza de cáscara de arroz (RHA) y cáscara de coco. Se prepararon nueve muestras mediante el proceso de fundición por agitación que constaba de Al6063 como metal base y diferente concentración de refuerzo. El UTS máximo se registró para la muestra que tenía una composición del 4% cada refuerzo y el resto de aluminio un 84%. La resistencia máxima a la fluencia se encontró para la muestra que tiene ceniza de coco (yute) 4% y el resto de aluminio 96%. El% de alargamiento máximo se encontró para la muestra que tenía 4% de RHA (Butola et al., 2019).

En la actualidad, la industria del automóvil está en proceso de suministrar los vehículos a bajo costo. Por lo tanto, se concentra en compuestos híbridos de poliéster reforzado con fibra de coco y pluma de pollo. La muestra compuesta se fabricó con varios porcentajes en peso de fibras naturales, a saber, fibra de coco (20%, 22%, 24% y 26%) y pluma de pollo (10%, 8%, 6% y 4%) combinados con resina de poliéster. utilizando el método de colocación manual. Entonces, para obtener nuevos materiales compuestos, se agregan diferentes proporciones de fibra de coco y pluma de pollo y se llevaron a cabo las propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, resistencia a la flexión e impacto para las muestras cortadas de los compuestos fabricados (Alagarsamy et al., 2015).

- *Aplicado en sistemas nano*

La mezcla de resina de poliéster disponible comercialmente con relleno de cáscara de coco en forma nano se utilizó como matriz para emparedar las fibras naturales de la palmera; porción del tallo de la hoja de palma y emparedado con fibras de vidrio. Para la experimentación, se fabricaron dos juegos de placas, uno sin tratar y otro tratado con álcali, utilizando el método de colocación manual. Los resultados experimentales revelan que el compuesto de polímero a base de fibra de tallo de hoja de palma tratado con álcali muestra resultados apreciables que el no tratado. El análisis SEM explora menos vacíos para las fibras tratadas. Por tanto, el compuesto desarrollado puede recomendarse para la fabricación de piezas de automóvil (Dhas et al., 2017). Por otro lado, los residuos agrícolas tienen un potencial significativo en compuestos debido a su alta resistencia, disponibilidad y sostenibilidad. La lignocelulosa es un componente importante de los desechos agrícolas y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, representa una fuente importante de fibras naturales como materia prima alternativa para biocomposites. Ahora, hay muchas aplicaciones potenciales para bionanocomposites que se han explorado, como aplicaciones de empaque, automotriz y otras. Se discutirán algunos puntos relacionados con la producción de nanocompuestos y sus aplicaciones para diversos fines (Dungani et al., 2017).

Las resinas de poliésteres insaturados (UPR) comprenden una clase importante de polímeros termoendurecibles. El material de refuerzo puede estar en forma de fibras, partículas o escamas, y el polímero constituye la matriz. Los compuestos reforzados con vidrio son los más populares, pero además de estos, se han utilizado fibras naturales como fibras de palma de azúcar, fibras de coco, fibras de henequén, fibras de algodón, fibras de cáñamo, fibras de kenaf, etc. También se han investigado compuestos con metales, óxidos metálicos, fibras de carbono y grafito. Tienen propiedades mecánicas, químicas, térmicas y eléctricas superiores. Los nanocompuestos de polímero muestran propiedades significativamente mejoradas a tasas de carga de relleno mucho más bajas, lo que en última instancia da como resultado un menor peso de los

componentes y puede simplificar el procesamiento. En general, los nanorrellenos se clasifican en términos generales sobre la base de sus geometrías como partículas, materiales en capas o fibrosos. Ejemplos de nanorrellenos de tipo partícula son negro de humo, óxidos metálicos (ZnO, Al₂O₃ y TiO₂), nanopartículas de sílice y silsesquioxanos oligoméricos poliédricos. Los nanotubos de carbono (CNT) y las nanofibrillas de celulosa son ejemplos de materiales fibrosos, mientras que las nanoarcillas y la montmorillonita son materiales en capas. Los nanocompuestos de UPR muestran propiedades térmicas, mecánicas, eléctricas, de absorción de agua, resistencia a los disolventes, retardantes de llama y contracción de volumen mejoradas. La modificación o funcionalización de polímeros y / o cargas conduce a mejoras adicionales en las propiedades de estos materiales. Son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales como los campos automotriz (Athawale & Pandit, 2019).

- ***Aplicado en sistemas según tipo polvo de coco***

Los materiales compuestos sirven como una alternativa apropiada a los metales debido a su alta relación resistencia / peso de los compuestos. Los materiales de relleno son los materiales inertes que se utilizan en los compuestos de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) para modificar las propiedades químicas y físicas de los polímeros de matriz para reducir el costo del material. Algunos de los rellenos comúnmente utilizados son el negro de carbón, carbonato de calcio, arcilla, alúmina trihidrato, hidróxido de magnesio, polvo de hueso, polvo de coco, polvo de hematita, TiO₂, SiO₂, ZnS, grafito, etc. En esta investigación, las juntas de solape se fabrican a partir de unidireccional Capa y capa bidireccional de material compuesto reforzado con fibra de vidrio con materiales de relleno Las muestras de SiC se someten a ensayos de propiedades mecánicas (Ganesh et al., 2018). Por otro lado, se involucra el modelado y análisis de un material compuesto. Este material está hecho de relleno de polvo de cáscara de coco como material de relleno en un material epoxi de fibra de vidrio. Aquí se analiza la influencia de parámetros independientes como la velocidad de deslizamiento, la carga normal, el contenido de relleno y distancia de deslizamiento en el comportamiento de desgaste del material compuesto fabricado. El experimento se llevó a cabo utilizando una configuración estándar de pasador sobre disco de un aparato de prueba de desgaste y fricción. La adición de materiales de relleno adicionales en gran medida influye y optimiza el comportamiento de desgaste del material (Pereira et al., 2020).

Fibra de cabuya

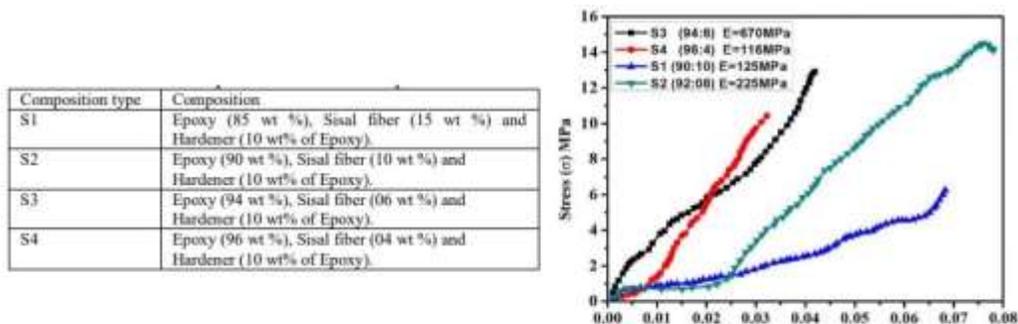
El sisal con el nombre botánico *Agave sisalana* o americano. La fibra de sisal se deriva de las hojas de la planta. Por lo general, se obtiene mediante decorticaciones a máquina en las que la hoja se tritura entre

rodillos y luego se raspa mecánicamente. Otro termino alternativo de la fibra de la planta de fique o también llamado cabuya de donde se extrae para el análisis de las aplicaciones en este trabajo.

- **Propiedades mecánicas de los compuestos de fibras de cabuya**

El sisal es una fibra natural que se utiliza como estructura de estera base en la que se agrega la resina epoxi para la adhesión. El compuesto de fibra de sisal preparado se compara con un compuesto reforzado con fibra de vidrio de referencia. Los ensayos de tracción, dureza e impacto se realizaron con materiales compuestos. El objetivo fue fabricar una nueva clase de compuestos a base de epoxi reforzados con fibra de sisal corta orientada al azar mediante la técnica de colocación manual. Los resultados revelan que se estudiaron las principales propiedades mecánicas, a saber, tracción, dureza e impacto, y se encontró que eran satisfactorias (Agilan, 2018). Por otro lado, se prepararon resinas termoplásticas (polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP)) reforzadas con diferentes proporciones de contenido de fibras de agave crudas y se caracterizaron en términos de sus propiedades mecánicas, térmicas y químicas. así como su morfología. Si bien la adición de cargas naturales no afectó a las propiedades térmicas generales de los materiales compuestos, el módulo elástico y la tensión de fluencia mostraron una correlación directa con el contenido de carga y aumentaron a medida que aumentaba el contenido de fibra. Los módulos elásticos más altos se lograron con un 20% en peso de fibra de agave para los tres compuestos. Los valores aumentaron en un 319,3%, 69,2% y 57,2%, para LLDPE, HDPE y PP, respectivamente. Las tensiones de rendimiento óptimas se lograron con un 20% en peso de fibra para LLDPE aumentando en un 84,2% y con un 30% en peso tanto para HDPE como para PP, aumentando en un 52% y 12,3% respectivamente (Annandarajah et al., 2018).

Figura 3: Comportamiento de compuestos a base de epoxi reforzados con fibra de sisal (Agilan, 2018).

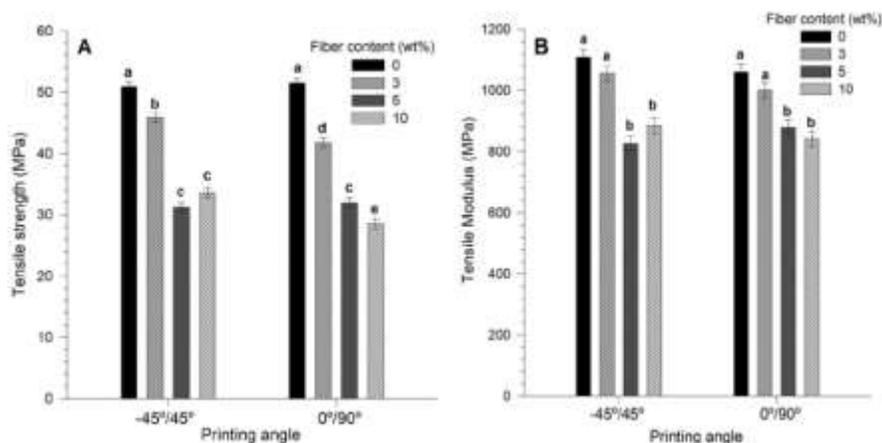


En la actualidad, con el fin de proporcionar una segunda vida económica a las fibras de agave, un importante material de desecho de la producción de tequila, se rellenaron filamentos a base de ácido poli láctico (PLA)

Materiales compuestos de polímero reforzado con fibra de cabuya y coco aplicado al sector automotriz

con fibras de agave (0, 3, 5, 10% en peso) y se utilizaron posteriormente para producir biocomposites mediante la impresión 3D basada en el modelado de deposición fundida (FDM) en dos ángulos de trama ($-45^\circ / 45^\circ$ y $0^\circ / 90^\circ$). La adición de fibras de agave a los filamentos aumentó el valor de cristalinidad del 23,7 al 44,1%. Sin embargo, las fibras generaron estructuras porosas con un mayor contenido de células abiertas y densidades aparentes más bajas que las piezas de PLA limpias. El ángulo de impresión tuvo un efecto poco significativo en las propiedades de flexión y tracción, pero afectó directamente a la morfología de los biocompuestos impresos, influyó positivamente en la resistencia al impacto y mejoró ligeramente los valores de absorción de los biocompuestos impresos a $-45^\circ / 45^\circ$. En general, el aumento de las concentraciones de fibras de agave tuvo un efecto perjudicial sobre las propiedades mecánicas de los biocompuestos. La desintegración de los biocomposites en condiciones de compostaje simuladas se redujo 1,6 veces con la adición de fibras de agave, en comparación con el PLA puro (Figuroa-Velarde et al., 2021). También se caracterizaron Ichu y Cabuya donde se estudió el efecto del tratamiento alcalino sobre las propiedades químicas y físicas de estas fibras. Los resultados muestran que con este tratamiento químico es posible eliminar 53,9% de lignina y 22,7% de hemicelulosa para la fibra de Ichu y 50,7% y 91,7%, respectivamente, para Cabuya. Además, se encontró que el ángulo micro fibrilar no se ve afectado por este tratamiento químico ya que su efecto es solo superficial. Además, las imágenes SEM muestran que la fibra de Ichu tiene partículas de sílice amorfa en su superficie (Tenazoa et al., 2021).

Figura 4: (A) Resistencia a la tracción y (B) módulo de tracción de biocompuestos de fibras de agave impresas / PLA. Las letras a – e en la parte superior de las barras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) (Figuroa-Velarde et al., 2021).



• Preparación de las fibras

Se han investigado las propiedades mecánicas y de absorción de agua de los compuestos hechos de fibra de sisal y matriz de poliéster. Las muestras de ensayo se prepararon con fibra sin tratar y se trataron con una

solución alcalina de hidróxido de sodio. La cantidad de contenido de fibra en los compuestos varió con valores de 10%, 20% y 30% en volumen. Los resultados de la prueba indican que el tratamiento alcalino ha mejorado la resistencia a la tracción, a la compresión y al impacto del material compuesto con el beneficio adicional de una baja absorción de agua. Se encuentra que la resistencia al impacto aumenta con un aumento en el contenido de fibra. Sin embargo, las resistencias a tracción y compresión han disminuido; La tasa de absorción de agua ha aumentado con un aumento en el contenido de fibra (Melkamu et al., 2019).

Así mismo se evalúan tres métodos de pretratamiento diferentes, es decir, hornificación con álcali, hornificación con agua y tratamiento con álcali, para mejorar la durabilidad de los compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales de agave en las condiciones de envejecimiento higrotérmico. Después de cuatro ciclos de hornificación subsiguientes, la hornificación alcalina dio como resultado un valor de retención de agua aproximadamente un 27% menor en las fibras de agave. En condiciones similares, la hornificación del agua conduce a una escasa pérdida del 6% de retención de agua. Bajo la exposición directa al agua, los compuestos con cuernos alcalinos tuvieron una ganancia de masa de 4,1%, 4,3% y 4,7%, respectivamente, a 25 ° C, 50 ° C y 75 ° C. La ganancia de masa de los compuestos tratados con álcali fue del 4,3%, 4,5% y 5,1%. y la hornificación del agua dio como resultado una ganancia de masa del 5,5%, 5,9% y 6,1% a temperaturas similares. En las condiciones de humedad, los compuestos con cuernos alcalinos tuvieron una ganancia de masa de 0,9%, 1,3% y 1,1%, respectivamente, a 25 ° C, 50 ° C y 75 ° C. La ganancia de masa de los compuestos tratados con álcali fue del 0,6%, 1,05% y 1,2%. y la hornificación del agua dio como resultado una ganancia de masa de 0,66%, 1,07% y 1,3% a temperaturas similares (Kamboj et al., 2020).

- ***Aplicado en sistemas según tipo polvo de cabuya***

Los laminados de polietileno reciclado de alta densidad, utilizado como matriz para la incorporación de la fibra de fique, que se preparó de manera similar al polvo sobrante. El contenido de polvo osciló entre el 7% y el 55% en peso. También se probó como relleno un 20% de carbonato de calcio. Se obtuvieron placas de hasta 2 mm del material compuesto mediante prensado en caliente a 180 ° C. El comportamiento del tenso y los resultados del módulo elástico indican que estos laminados podrían usarse adecuadamente en lugar de madera o polímeros puros para aplicaciones de la industria automotriz (Arjona et al., 2001).

- ***Aplicado en componentes no estructurales y estructurales***

Los biopolímeros reforzados con fibras de agave marginata con una adecuada selección de la fibra, en cuanto a variedad, edad y posición, así como mediante la implementación de un nuevo método de extracción de fibra ecofriendly que permite el usuario para obtener fibras con mejores prestaciones mecánicas en las

aplicaciones no estructurales, y la implementación de biocomposites de alto desempeño para aplicaciones semiestructurales y estructurales. A partir de estas fibras optimizadas, así como de matrices termoplásticas y termo endurecibles, especialmente indicadas para la fabricación de biocomposites ecológicos de alto rendimiento, un preciso análisis teórico-experimental de la adhesión fibra-matriz ha permitido, en primer lugar, constatar la buena adhesión de la fibra de agave con matrices epoxi y PLA, así como para detectar la influencia real de los tratamientos de mercerización y los efectos significativos de la rigidez de los materiales acoplados sobre los posibles mecanismos de daño por arrancamiento y / o desprendimiento (B. Zuccarello & Zingales, 2017). Algo semejante ocurre con los biocompuestos hechos de microfibras de bambú betung (*Dendrocalamus asper*) y sisal (*Agave sisalana*) mezclados con un polímero natural de ácido poliláctico (PLA). Las fibras de bambú o sisal se convirtieron en pulpa y se procesaron usando un refinador de disco para producir celulosa microfibrilada (MFC) con un diámetro de fibra de alrededor de 10 μm . Se mezcló MFC con PLA y triacetina y se secó. La mezcla se procesó en un mezclador a una temperatura de 170°C, velocidad de 60 rpm durante 20 min. El resultado mostró que la relación de composición óptima de fibras de bambú / PLA fue 20/80, lo que dio una resistencia a la flexión de 62.30 MPa, un módulo de flexión de 3.89 GPa, una resistencia a la tracción de 44.55 MPa, un módulo de tracción de 1.20 GPa y una dureza de 112.90 R. La relación de composición de fibras de sisal / PLA fue 30/70, lo que dio una resistencia a la flexión de 67,83 MPa, un módulo de flexión de 4,43 GPa, una resistencia a la tracción de 48,18 MPa, un módulo de tracción de 1,13 GPa y una dureza de 110,50 R (Subyakto et al., 2017).

Desde otra perspectiva se presenta un procedimiento basado en la adición de un relleno carbonoso a una matriz epoxi verde reforzada con fibras de *Agave sisalana*, se seleccionó el biocarbón por su respeto al medio ambiente, junto con su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas de los polímeros. Se dispersaron finamente diferentes porcentajes de biocarbón, 1, 2 y 4% en peso, en la resina utilizando un mezclador y un sonicador, luego se utilizó un proceso de moldeo por compresión junto con un proceso de curado termomecánico optimizado para producir un biocompuesto de fibra corta con $V_f = 35\%$. Las pruebas experimentales sistemáticas han demostrado que la presencia de biocarbón, en una cantidad del 2% en peso, tiene efectos significativos sobre la interfase de la matriz y la fibra, y conduce a un aumento de hasta tres órdenes de magnitud en la vida a fatiga, junto con una mejora apreciable en resistencia a la tracción estática (Bernardo Zuccarello et al., 2021). Por otra parte, una resina de poliéster disponible comercialmente se reforzó con fibras de cabuya. Las propiedades mecánicas del material reforzado con fibra de cabuya también se compararon con la misma resina, pero reforzada con fibras de vidrio. Un aumento en la carga de la fibra disminuye la resistencia a la tracción del composite reforzado con cabuya, donde un valor de 52,6 MPa

correspondió al esfuerzo de tracción de la resina sin refuerzo y un valor de 34,5 MPa para el mejor refuerzo logrado con cabuya. Un aumento tanto en la carga como en la longitud de la fibra aumenta el módulo de Young del material reforzado con cabuya y se obtuvo un valor máximo de 2885 MPa. Los valores de módulo de Young y resistencia al impacto para el compuesto de cabuya (2885 MPa y 100,87 J / m, respectivamente) alcanzaron valores superiores a los obtenidos para el material de poliéster no reforzado (2639 MPa y 5,82 J / m, respectivamente), e inferiores a los compuesto de fibra de vidrio (5526 MPa y 207,46 J / m, respectivamente); mientras que las resistencias a tracción y flexión obtenidas para el compuesto de cabuya (34,5 MPa y 32,6 MPa, respectivamente) fueron menores que las del poliéster no reforzado (52,6 MPa y 62,9 MPa, respectivamente) y reforzado con fibra de vidrio (87,3 MPa y 155 MPa, respectivamente) (Brenes-Acosta & Stradi-Granados, 2014).

A sí mismo, el uso de fibras de bagazo de agave azul, procedente de residuos de la fabricación de tequila, como agente reforzante en compuestos de polipropileno. Las muestras se produjeron mediante extrusión de doble tornillo y moldeo por inyección. Se investigaron las propiedades mecánicas resultantes y la morfología de las superficies de fractura. El método de procesamiento de la fibra (Agave C frente a Agave R) no afectó significativamente las propiedades del compuesto. Los niveles más altos de carga de fibra redujeron tanto el alargamiento a la rotura como la resistencia al impacto, pero aumentaron la rigidez de los compuestos de agave. El compatibilizador aumentó la adhesión de la matriz de la fibra, pero redujo la resistencia al impacto porque la matriz de polímero se ablandó (Langhorst et al., 2018).

- ***Aplicado como nano partículas***

Recientemente, el uso de nanopartículas como refuerzo, ha permitido incrementar las propiedades mecánicas y térmicas de los biolaminados compuestos. En este trabajo se evalúan las propiedades mecánicas de los biolaminados a base de fibras de Agave (Henequen) embebidas en una resina bioepoxi con un 45% de componente natural y con nanopartículas de ZnO en diferentes porcentajes en peso. Las propiedades mecánicas muestran un aumento de rigidez y resistencia con la presencia de nanopartículas de ZnO. El comportamiento de fractura en el modo I registró cambios moderados en la tenacidad, relacionados con el tipo de fibras y la fracción de ZnO. Los resultados muestran la posible aplicación de estos biolaminados en las industrias de productos básicos, construcción y automoción (Franco-Urquiza et al., 2020).

- ***Aplicado en polímeros verdes***

Lo más importante son los composites sostenibles roto-moldeados a base de polietileno verde (Green-PE) y fibras naturales (bonote y agave). Los resultados mostraron una morfología más homogénea con una

mejor dispersión y humectación de las fibras en los compuestos de fibras tratadas que conducen a mejoras sustanciales del módulo de tracción desde 258 MPa para la matriz pura hasta 345 MPa para ambos, agave tratado y compuestos de bonote (al 30% en peso) y resistencia a la tracción de 13,7 MPa para Green-PE a 15,3 MPa para compuestos de fibra de coco tratados al 30%. El efecto positivo del tratamiento superficial también se observó en la resistencia a la flexión con aumentos de hasta un 100% y un 34% en el módulo de flexión. Además, la resistencia al impacto aumentó hasta un 46% y la absorción de agua se redujo hasta un 55% para los compuestos de fibra tratados en comparación con los compuestos de fibra sin tratar. Como observación importante, fue posible obtener propiedades mecánicas similares o incluso superiores con los compuestos de fibra natural Green-PE que para un polietileno roto moldeado a base de petróleo, lo cual es interesante en términos de sostenibilidad y rendimientos para aplicaciones de automoción (Robledo-Ortíz et al., 2020). En otro sentido, aplicando un análisis basado en el diseño de experimentos (DOE) más ensayos experimentales, se realizó una caracterización mecánica del material compuesto látex reforzado con fibra corta de cabuya con orientación aleatoria y fracciones volumétricas de 20% de látex - 80% de fibra de cabuya, 30% de látex-70 % fibra de cabuya, 45% látex - 55% fibra de cabuya; para las diferentes combinaciones. Con el análisis desarrollado por la metodología estadística basada en el diseño factorial general completo y la función de deseabilidad se pudo determinar las mejores características mecánicas del material compuesto que se utilizará, fue el compuesto formado por fibra con 1 centímetro de longitud y un fracción volumétrica de 20% de látex - 80% de Cabuya (Paredes et al., 2021).

- ***Polímeros de almidón reforzados con fibras naturales***

Los polímeros de almidón reforzados con fibras naturales se procesan mediante moldeo por compresión. Como matrices se utilizan patata, batata y almidón de maíz. Tres tipos de fibras naturales, a saber, sisal, yute y cabuya, se utilizan en concentraciones que varían de 2,5 a 12,5% p / p en los compuestos. Se utilizan diferentes plastificantes para los polímeros de almidón, como agua y glicerol. Las propiedades mecánicas se evalúan mediante ensayos de tracción e impacto. En ambos casos, se obtienen propiedades mecánicas mejoradas al aumentar el contenido de fibra. La resistencia a la tracción parece mejorar notablemente con la adición de un 10% en peso de fibras de sisal, mientras que los mejores resultados de resistencia al impacto se obtienen con las fibras de cabuya (Torres et al., 2007). Desde otra perspectiva se prepararon con éxito nuevos compuestos verdes a partir de poli (3-hidroxitirato) bacteriano (PHB) y fibras de pita derivadas de la planta de agave (*Agave americana*). Varios contenidos en peso (10, 20, 30 y 40% en peso) de fibras de pita en diferentes longitudes (5, 15 y 20 mm) se incorporaron con éxito en PHB mediante moldeo por compresión. Los resultados obtenidos indicaron que la rigidez mecánica del PHB mejoró significativamente

con el contenido y la longitud de las fibras de pita, aunque se redujeron las propiedades dúctiles. En particular, el módulo de elasticidad de las láminas compuestas de PHB al 40% en peso que contienen fibras de pita de 20 mm de largo fue aproximadamente un 55% más alto que la lámina de PHB sin relleno. La dureza Shore D también mejoró, logrando las fibras de pita más cortas la mayor mejora. Las fibras de pita con longitudes de 15 y 20 mm también aumentaron el punto de ablandamiento Vicat y la temperatura de deflexión térmica (HDT) en 38 y 21 ° C, respectivamente. Debido a su forma óptima, se concluye que las fibras de pita con longitudes superiores a 15 mm pueden potencialmente reforzar y mejorar el rendimiento del biopolímero PHB (Torres-Giner et al., 2018).

- ***Termoplásticos reforzados con fibras híbridas de cabuya***

La mejor manera de reducir el peso de un automóvil sin sacrificar su seguridad es emplear material compuesto reforzado con fibra en lugar de cuerpos metálicos pesados. Ayuda a mejorar la eficiencia del combustible y, por lo tanto, ayuda a la conservación de los combustibles fósiles que se agotan continuamente. Se utilizaron fibras como plátano (*Musa indica*) y sisal (*Agave sisalana*) para hacer los compuestos. Según los resultados experimentales, estos compuestos son un buen reemplazo para los componentes existentes en las industrias automotrices en un futuro cercano y, por lo tanto, sirven como una tecnología innovadora para el futuro sostenible (Vijayakumar et al., 2014);(Jagadeesh et al., 2020)

El uso de geo polímeros como matriz en composites con fibras naturales. Las matrices geo poliméricas abren horizontes para este tipo de aplicaciones. Se estudia compuestos con matrices geo poliméricas reforzadas con dos tipos de fibras naturales: sisal (*Agave Sisalana*) y fibra de hoja de piña (PALF-*Ananas Comosus*). Las propiedades mecánicas de estos nuevos compuestos se investigan mediante ensayos mecánicos. Los resultados confirman el aumento del rendimiento mecánico cuando las fibras están sometidas a esfuerzos de tracción (Correia et al., 2013).

Por otro lado, los presentes estudios experimentales son la conducción térmica y automatizada de agregados híbridos reforzados con fibras naturales. Se utilizan 7,5% en peso y 10% en peso de fibras de *Agave Americana* tratadas con álcali. Se agrega una pequeña cantidad de fibra de carbono con el propósito de hibridar. Los compuestos híbridos se fabrican mediante un dispositivo de colada por compresión. Los resultados se comparan entre un compuesto reforzado con fibra de *Agave Americana* tratado con álcali al 7,5% y el 10%. Con el fin de ahorrar energía al reducir la tasa de transferencia de calor para aplicaciones en la industria automotriz, se presume que los tratamientos de fibra de *Agave Americana* ayudarán a mejorar los compuestos poliméricos sándwich reforzados con fibra sintética (Jani et al., 2020).

Conclusiones y recomendaciones

La fibra de coco, y fibras de agave que se preparan en forma de matriz, se mezclan con resinas apropiadas para lograr una unión adecuada del material, donde los resultados de la experimentación se comparan con otros tipos de compuestos poliméricos reforzados para la optimización en los materiales tradicionales esto se trabaja muchas veces mediante el reciclaje de desechos de polímeros.

La interpretación de los resultados depende de la aplicación buscada y se analiza las importantes propiedades químicas, mecánicas y físicas que se desee considerarse para la industria automotriz.

La descripción general de las diferentes combinaciones de materiales junto con las fibras naturales de coco y cabuya para el diseño de materiales compuestos con propiedades mejoradas y su idoneidad para posibles aplicaciones de ingeniería en la industria automotriz.

Esta revisión presenta oportunidades para futuras investigaciones y estudios relacionados con los compuestos reforzados con fibras naturales y derivados principalmente de fibra de coco y cabuya para aplicaciones estructurales y no estructurales, interiores y exteriores, y múltiples aplicaciones que se adaptan a la industria del automóvil.

Referencias

1. Abhemanyu, P. C., Prassanth, E., Kumar, T. N., Vidhyasagar, R., Marimuthu, K. P., & Pramod, R. (2019). Characterization of natural fiber reinforced polymer composites. *AIP Conference Proceedings*, 2080. <https://doi.org/10.1063/1.5092888>
2. Agilan, H. (2018). Automotive Application and Mechanical Property Characterisation of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composite Material. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(7), 1015.
3. Alagarsamy, S. ., Sagayaraj, A. ., & Vignesh, S. (2015). Investigating the Mechanical Behaviour of Coconut Coir – Chicken Feather Reinforced Hybrid Composite. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 4(12), 4215–4221.
4. Amoako, G., Mensah-Amoah, P., Sam, F., & Sackey, S. S. (2018). Some Mechanical Properties of Coconut Fiber Reinforced Polyethylene Composite to Control Environmental Waste in Ghana. *Energy and Environment Research*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.5539/eer.v8n1p1>
5. Annandarajah, C., Li, P., Michel, M., Chen, Y., Jamshidi, R., Kiziltas, A., Hoch, R., Grewell, D., & Montazami, R. (2018). Study of agave fiber-reinforced biocomposite films. *Materials*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.3390/ma12010099>

6. Arantes, M. M., Santana, J., Valenzuela-Díaz, F. R., Rangari, V. K., Guven, O., & Moura, E. A. B. (2018). Development and characterization of recycled-HDPE/EVA foam reinforced with babassu coconut epicarp fiber residues. *Minerals, Metals and Materials Series, Part F8*, 497–506. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72484-3_52
7. Arjona, S. D., Perdomo, F., & Gutiérrez, R. M. De. (2001). PEAD-FIBRAS DE FIQUE *Ciencia y Tecnología*. Junio, 3(No 1), 43–50.
8. Arul Murugan, M., & Kumar, J. G. K. (2018). Cheap natural fibers as composite material for automobiles - An experimental research. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(6), 182–185.
9. Arunachalam, K., & Pandian, G. S. (2016). Modeling and analysis of clutch facing made up of biodegradable coir fibre based composite material. *Polymers and Polymer Composites*, 24(7), 463–468. <https://doi.org/10.1177/096739111602400703>
10. Athawale, A. A., & Pandit, J. A. (2019). Unsaturated polyester resins, blends, interpenetrating polymer networks, composites, and nanocomposites: State of the art and new challenges. In *Unsaturated Polyester Resins: Fundamentals, Design, Fabrication, and Applications* (pp. 1–42). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816129-6.00001-6>
11. Bajwa, D. S., & Bhattacharjee, S. (2016). Current Progress, Trends and Challenges in the Application of Biofiber Composites by Automotive Industry. *Journal of Natural Fibers*, 13(6), 660–669. <https://doi.org/10.1080/15440478.2015.1102790>
12. Bartol, T., & Mackiewicz-Talarczyk, M. (2015). Bibliometric Analysis of Publishing Trends in Fiber Crops in Google Scholar, Scopus, and Web of Science. *Journal of Natural Fibers*, 12(6), 531–541. <https://doi.org/10.1080/15440478.2014.972000>
13. Brenes-Acosta, A., & Stradi-Granados, B. A. (2014). Comparative study of the mechanical properties of polyester resin with and without reinforcement with fiber-glass and furcraea cabuya fibers. *Fibers and Polymers*, 15(10), 2186–2192. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-2186-4>
14. Butola, R., Malhotra, A., Yadav, M., Singari, R., Murtaza, Q., & Chandra, P. (2019). Experimental studies on mechanical properties of metal matrix composites reinforced with natural fibres ashes. *SAE Technical Papers*, 2019-April(April). <https://doi.org/10.4271/2019-01-1123>
15. Chandramohan, D. (2014). Studies on natural fiber particle reinforced composite material for conservation of natural resources. *Advances in Applied Science Research*, 5(2), 305–315.

16. Correia, E. A., Torres, S. M., Alexandre, M. E. O., Gomes, K. C., Barbosa, N. P., & Barros, S. D. E. (2013). Mechanical performance of natural fibers reinforced geopolymer composites. *Materials Science Forum*, 758, 139–145. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.758.139>
17. Crăciun, A. L., & Pinca-Bretotean, C. (2016). Advanced materials with natural fibred reinforced aluminiu composite for automotive brake disc. *Solid State Phenomena*, 254, 91–96. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.254.91>
18. Dhas, J. E. R., Pradeep, P., Gladson, D., Dinesh, R., & Aran, M. (2017). Comparison of mechanical properties for alkali treated and untreated palm/glass sandwiched fiber reinforced polymer composite. *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Aerospace Engineering, ICRAAE 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICRAAE.2017.8297216>
19. Dhawan, V., Singh, S., & Singh, I. (2013). Effect of Natural Fillers on Mechanical Properties of GFRP Composites. *Journal of Composites*, 2013, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/792620>
20. Dungani, R., Abdul Khalil, H. P. S., Aprilia, N. A. S., Sumardi, I., Aditiawati, P., Darwis, A., Karliati, T., Sulaeman, A., Rosamah, E., & Riza, M. (2017). Bionanomaterial from agricultural waste and its application. In *Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites: Production, Properties and Applications* (Issue 1, pp. 45–88). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100957-4.00003-6>
21. Figueroa-Velarde, V., Diaz-Vidal, T., Cisneros-López, E. O., Robledo-Ortiz, J. R., López-Naranjo, E. J., Ortega-Gudiño, P., & Rosales-Rivera, L. C. (2021). Mechanical and Physicochemical Properties of 3D-Printed Agave Fibers/Poly (lactic) Acid Biocomposites. *Materials*, 14(11), 3111.
22. Franco-Urquiza, E. A., Renteria, V., Perez-Mora, R., González-García, P., & Torres-Arellano, M. (2020). Mode I interlaminar fracture toughness of biolaminates composites charged with reinforced particles. *Composites and Advanced Materials Expo, CAMX 2020*.
23. Gananasekaran, K., Balachandar, M., Vinoth Kumar, M., Sathish, S., & Balaji, D. (2019). Synthesis and evaluation of polyurethane foam composites for enhanced sound absorption at low frequency. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 6815–6818. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C5762.098319>
24. Ganesh, R., Manimaran, A., & Logesh, K. (2018). Experimental study on investigation of sic in glass fibre reinforced lap joint. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8(3), 893–900. <https://doi.org/10.24247/ijmperdjun201894>

25. Gopinath, A., Senthilkumar, M., & Babu, A. (2018). Evaluation of Mechanical Properties and Microstructure of Polyester and Epoxy Resin Matrices Reinforced with Jute, E-glass and coconut Fiber. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 20092–20103. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.376>
26. Ige, O. E., Inambao, F. L., & Adewumi, G. A. (2019). Effect of fiber, fillers and binders on automobile brake pad performance: a review. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 10(6), 135–150. <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp135http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&IType=6http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=10&IType=6>
27. Jagadeesh, P., Thyavihalli Girijappa, Y. G., Puttegowda, M., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2020). Effect of natural filler materials on fiber reinforced hybrid polymer composites: An Overview. In *Journal of Natural Fibers* (pp. 1–16). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1854145>
28. Jani, S. P., Sajith, S., Rajaganapathy, C., & Khan, M. A. (2020). Mechanical and thermal insulation properties of surface-modified Agave Americana/carbon fibre hybrid reinforced epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 1648–1653. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.180>
29. Kamboj, I., Jain, R., Jain, D., & Bera, T. K. (2020). Effect of Fiber Pre-treatment Methods on Hygrothermal Aging Behavior of Agave Fiber Reinforced Polymer Composites. *Journal of Natural Fibers*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1838398>
30. Karthi, N., Kumaresan, K., Sathish, S., Gokulkumar, S., Prabhu, L., & Vigneshkumar, N. (2019). An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2828–2834. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.011>
31. Khalid, M. Y., Imran, R., Arif, Z. U., Akram, N., Arshad, H., Rashid, A. Al, & Márquez, F. P. G. (2021). Developments in chemical treatments, manufacturing techniques and potential applications of natural-fibers-based biodegradable composites. In *Coatings* (Vol. 11, Issue 3, pp. 1–18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/coatings11030293>

32. Kicińska-Jakubowska, A., Bogacz, E., & Zimniewska, M. (2012). Review of Natural Fibers. Part I-Vegetable Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 9(3), 150–167. <https://doi.org/10.1080/15440478.2012.703370>
33. Koodalingam, B., Senthilkumar, P., & Rajesh Babu, S. (2020). Study of mechanical properties of the polymer matrix composite materials using pistachio shells. *Materials Today: Proceedings*, 33(13), 2912–2916. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.876>
34. Krishnamoorthy, K., & Saishanker, V. (2016). Sustainable Polyurethane Composite with Coconut Fiber for NVH Applications. *SAE Technical Papers*, 2016-Febru(February). <https://doi.org/10.4271/2016-28-0143>
35. Kumar, J. G. K., & Venkatesh Babu, R. (2020). Mechanical behaviour and characterization of reinforced CNSL composite material. *Materials Today: Proceedings*, 22, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.398>
36. Kumar, J. G. K., Venkatesh Babu, R., & Arul Murugan, M. (2018). A reinforced coconut char, jute and glass fibers composite material mechanical effects compared by using taguchi method and analysis (Anova) technique. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(4), 2903–2908. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.15657>
37. Langhorst, A. E., Burkholder, J., Long, J., Thomas, R., Kiziltas, A., & Mielewski, D. (2018). Blue-agave fiber-reinforced polypropylene composites for automotive applications. *BioResources*, 13(1), 820–835. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.820-835>
38. Lohar, D. V., Damle, P. G., & Nikalje, A. M. (2020). A Review of Hybrid polymer Bio-composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 810(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/810/1/012001>
39. Luz, F. S. Da, Ramos, F. J. H. T. V., Nascimento, L. F. C., Figueiredo, A. B. H. D. S., & Monteiro, S. N. (2018). Critical length and interfacial strength of PALF and coir fiber incorporated in epoxy resin matrix. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(4), 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.025>
40. Motaung, T. E., Liganiso, L. Z., & Mohomane, S. M. (2017). Agricultural waste fibers and biopolymer matrices used in biocomposites. In *Biocomposites: Properties, Performance and Applications* (pp. 11–26).
41. Mulenga, T. K., Ude, A. U., & Vivekanandhan, C. (2021). Techniques for modelling and optimizing the mechanical properties of natural fiber composites: A review. In *Fibers* (Vol. 9,

- Issue 1, pp. 1–17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
<https://doi.org/10.3390/fib9010006>
42. Narendiranath Babu, T., Shivasai, B., Mahesh, V., & Reddy, P. (2017). Design and analysis of coconut fiber reinforced polyester composite leafspring. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(6), 544–552.
 43. Nimal, S., & Fathima, A. A. S. (2018). Recycling automobile service station wash water-Chennai. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(4), 795–802.
 44. Paredes, J., Arroba, C., Machado, A., & Castillo, W. (2021). Mechanical Properties Optimization of the Elastomeric Matrix Reinforced Composite Material with Cabuya Fiber, Using the DOE/Complete Factorial Design and Desirability Function. *Key Engineering Materials*, 872, 45–53. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.872.45>
 45. Pereira, K. P. S., Sheikh, M. A. T., & Prabhu, R. (2020). Modeling and analysis for wear performance of coconut shell powder filled glass fiber composite using Taguchi approach. *AIP Conference Proceedings*, 2236. <https://doi.org/10.1063/5.0007090>
 46. Rajasekhar, P., Ganesan, G., & Senthilkumar, C. (2017). Wear Behavior of Coconut Fiber Reinforced Polyamide Matrix Composites. In *International Journal of Recent Technology and Engineering* (Issue 1).
 47. Robledo-Ortíz, J. R., González-López, M. E., Rodrigue, D., Gutiérrez-Ruiz, J. F., Prezas-Lara, F., & Pérez-Fonseca, A. A. (2020). Improving the Compatibility and Mechanical Properties of Natural Fibers/Green Polyethylene Biocomposites Produced by Rotational Molding. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(3), 1040–1049. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01667-1>
 48. Santhanam, S. K. V., Pullayikodi, S. S., Sampath, P., Doraiswamy, V., & Manickam, D. (2020). Crash analysis and characterization of bio organic fillers in the BFRP/EPOXY composites. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 2B-2020. <https://doi.org/10.1115/IMECE2020-23103>
 49. Sathish Kumar, P., Neethimanickam, I., Robinston Jeyasingh Swikker, R., & Maheswari, K. S. (2020). Strength and behavior analysis of honey comb sandwich composite structure. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), 2668–2675.
 50. Srinivasababu, N. (2017). Mechanical Behavior of Arbitrarily Reinforced Cocos Nucifera Leaf Sheath Fibre Reinforced Polyester Composites - Comparison with other Coconut FRP

- Composites. Materials Today: Proceedings, 4(9), 9612–9615.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.234>
51. Subyakto, S., Hermiati, E., Masruchin, N., Ismadi, I., Prasetyo, K. W., Kusumaningrum, W. B., & Subiyanto, B. (2017). Injection Molded of Bio-Micro-Composites from Natural Fibers and Polylactic Acid. *Wood Research Journal*, 2(1), 21–26. <https://doi.org/10.51850/wrj.2011.2.1.21-26>
52. Sundarababu, J., Anandan, S. S., & Griskevicius, P. (2020). Evaluation of mechanical properties of biodegradable coconut shell/rice husk Powder polymer composites for light weight applications. *Materials Today: Proceedings*, 39, 1241–1247. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.095>
53. Sundarapandian, G., & Arunachalam, K. (2020). Investigating suitability of natural fibre-based composite as an alternative to asbestos clutch facing material in dry friction clutch of automobiles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/5/052017>
54. Tenazoa, C., Savastano, H., Charca, S., Quintana, M., & Flores, E. (2021). The Effect of Alkali Treatment on Chemical and Physical Properties of Ichu and Cabuya Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 18(7), 923–936. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1675211>
55. Torres-Giner, S., Montanes, N., Fombuena, V., Boronat, T., & Sanchez-Nacher, L. (2018). Preparation and characterization of compression-molded green composite sheets made of poly(3-hydroxybutyrate) reinforced with long pita fibers. *Advances in Polymer Technology*, 37(5), 1305–1315. <https://doi.org/10.1002/adv.21789>
56. Torres, F. G., Arroyo, O. H., & Gomez, C. (2007). Processing and mechanical properties of natural fiber reinforced thermoplastic starch biocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20(2), 207–223. <https://doi.org/10.1177/0892705707073945>
57. Vaidyanathan, H. P., Murty, P., & Eswara, S. P. (2011). Hybrid natural fiber composites molded auto-body panels/ skins (Hybrid NFPC): Processing, characterization & modeling. *SAE Technical Papers*.
58. Verma, D., & Senal, I. (2019). Natural fiber-reinforced polymer composites: Feasibility study for sustainable automotive industries. In *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy* (pp. 103–122). Elsevier.

59. Verma, D., Sharma, S., & Farswan, R. (2017). Mechanical properties of kenaf fiber reinforced thermoplastic composites: A recent study. In *Green Polymeric Materials: Advances and Sustainable Development*.
60. Vijayakumar, S., Abilash, K., & Vinoth, R. (2014). Application of green composites in structural upgradation. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2014-Decem, 4–5.
61. Vögele, S., Grajewski, M., Govorukha, K., Rübhelke, D., Ahi, P., Searcy, C., Draxler, M., Schenk, J., Bürgler, T., Sormann, A., Co, T., Rynikiewicz, C., Hafeez, K., Griffiths, M., Griffiths, J., Naim, M. M., Conejo, A. N., Birat, J. P., Dutta, A., ... Glavič, P. (2020). Energy Use in the Iron and Steel Industry. *Journal of Cleaner Production*, 32(2), 285. <https://www.moh.gov.sa/en/Ministry/Statistics/Book/Pages/default.aspx%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.003%0Ahttps://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf%0Ahttps://doi.org/10.1007/s11135-018-0781-y%0Aworldsteel.o>
62. Yashas Gowda, T. G., Sanjay, M. R., Subrahmanya Bhat, K., Madhu, P., Senthamaraikannan, P., & Yogesha, B. (2018). Polymer matrix-natural fiber composites: An overview. In D. Pham (Ed.), *Cogent Engineering* (Vol. 5, Issue 1, p. 1446667). Cogent OA. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1446667>
63. Zuccarello, B., & Zingales, M. (2017). Toward high performance renewable agave reinforced biocomposites: Optimization of fiber performance and fiber-matrix adhesion analysis. *Composites Part B: Engineering*, 122, 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.04.011>
64. Zuccarello, Bernardo, Bartoli, M., Bongiorno, F., Militello, C., Tagliaferro, A., & Pantano, A. (2021). New concept in bioderived composites: Biochar as toughening agent for improving performances and durability of agave-based epoxy biocomposites. *Polymers*, 13(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/polym13020198>