

CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE MOCORA
PARA MATERIAL COMPUESTO

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Mecánico

Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

Caracterización De La Fibra Natural De Mocora Para Refuerzo De Un Material Compuesto
De Resina Poliéster Insaturado Para Aplicaciones Automotrices Y Aeroespaciales.

Juan Francisco Nicolalde González

Nota del autor

Juan Francisco Nicolalde González, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad
Internacional SEK.

Director: Ph.D. Javier Martínez Gómez

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

jnicolalde.mdm@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Juan Francisco Nicolalde González, con cédula de identidad 1722049580, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Juan Francisco Nicolalde González
C.I.: 172204958-0

Índice de Contenidos

Declaración Juramentada	2
Índice de Contenidos.....	3
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras	7
Resumen.....	9
Abstract	10
Introducción	11
Antecedentes	11
Problemática.....	12
Justificación.....	13
Estado del arte	14
Materiales compuestos.....	14
Materiales poliméricos y biopoliméricos.....	16
Resina de poliéster insaturado.....	18
Resina cristalan 896	19
Fibras naturales.....	19
Fibra natural de mocora	24
Procesamiento de la fibra.....	25
Biocompuestos en la industria automotriz.....	25

Método	29
Obtención de la fibra.....	29
Caracterización de la fibra	30
Toma de medidas	30
Ensayos de tracción.....	30
Análisis de termogravimetría	30
Microscopias	31
Absorción de humedad.....	31
Modelo para moldes	32
Ensayos con resina	33
Curado de resina.....	33
Cálculo de densidades	33
Cálculo de fracción volumétrica	34
Generación de probetas y ensayos	34
Determinación de aplicación y factibilidad de prototipo	35
Resultados	36
Información del artesano.....	36
Medición de la fibra	36
Ensayo mecánico a la fibra	39
Termogravimetría.....	41

CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE MOCORA
PARA MATERIAL COMPUESTO

5

Microscopias	43
Porcentaje de absorción de humedad	46
Generación de molde.....	51
Reacción de la fibra a la resina	53
Cálculo de densidad	54
Generación de probetas con fracción volumétrica y ensayos mecánicos	55
Análisis y discusión de resultados.....	61
Elongación % de la mocora.....	61
Resistencia térmica de la mocora vs sisal	62
Microscopias de la mocora.....	63
Compatibilidad de resina poliéster y fibra de mocora	64
Conclusiones	65
Recomendaciones.....	66
Referencias bibliográficas	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades de la resina.....	19
Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de algunas fibras	22
Tabla 3. Propiedades mecánicas de algunas fibras	23
Tabla 4. Propiedades de fibras naturales.....	23
Tabla 5. Compuestos de fibra natural en diferentes series de automotores	28
Tabla 6. Medidas de fibra.....	38
Tabla 7. Ensayo a tracción fibra simple	39
Tabla 8. Ensayo a tracción fibra trenzada	40
Tabla 9. Absorción de humedad.....	50
Tabla 10 Densidades por compuestos.	54
Tabla 11. Densidad aparente calculada fibra	55
Tabla 12. Cálculo Fracción volumétrica	55
Tabla 13. Comparación TGA mocora vs sisal	63

Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de Biopolímeros	17
Figura 2. Clasificación de Biofibras Naturales	21
Figura 3. Muebles de mocora.....	24
Figura 4. Fibra de mocora y su preparación.....	36
Figura 5. Estiramiento de fibra.....	37
Figura 6. Caja y bigote de longitud de fibra.....	37
Figura 7. Gráfica de dispersión medidas	38
Figura 8. Caja y bigote de esfuerzo.....	41
Figura 9. TGA	42
Figura 10. TGA varias fibras	43
Figura 11. Microscopia de inspección a fibra	44
Figura 12. SEM fibra.....	45
Figura 13. SEM fibra suelta	46
Figura 14. Absorción de humedad de fibra.....	47
Figura 15. Incremento de peso	48
Figura 16. Incremento de peso fibra entera.....	48
Figura 17. Pruebas a fibra húmeda.....	49
Figura 18. AH vs Ancho	50
Figura 19. Diseño de molde	51
Figura 20. Mallado.....	52
Figura 21. Esfuerzo vs Mallado	52
Figura 22. Moldes	53

Figura 23. Restos de resina	53
Figura 24. Pandeo de probetas	54
Figura 25. Probetas.....	56
Figura 26. Rotura probeta Fv 15%	56
Figura 27. Rotura probeta Fv 25%	57
Figura 28 Rotura Probeta Fv 35%.....	58
Figura 29. Roturas y fallas	59
Figura 30. Fibra triturada	59
Figura 31. Probetas de fibra triturada.....	60
Figura 32. Caja y Bigote de elongación %	61
Figura 33. TGA sisal	62
Figura 34. SEM lino	63
Figura 35. Compatibilidad de matriz con mocora vs sisal	64

Resumen

La presente investigación busca la caracterización de la fibra natural de mocora y analizar su viabilidad como un material compuesto que refuerce una matriz de resina de poliéster insaturado para darle aplicaciones en la rama automotriz y aeroespacial. Debido a la biodiversidad del Ecuador, las fibras naturales supondrían un gran aporte a la manufactura de partes mecánicas como materiales compuestos, pero no se las ha caracterizado por lo que esta investigación comienza con el levantamiento de información de la fibra. Con la fibra adquirida tal cual como la venden los artesanos, se pasa a su caracterización, tomando medidas, se realiza un análisis termogravimétrico, microscopia de inspección industrial, microscopia electrónica de barrido, determinación de absorción de humedad, determinación de sus propiedades físicas mediante normas ASTM y observación de la reacción de la fibra ante la resina. Se procede a la caracterización mecánica del material compuesto, para poder generar el material compuesto se define la fracción volumétrica y orientación de la fibra, así, mediante normas ASTM se realizan las probetas y pruebas mecánicas, aprovechando los ensayos destructivos se da un análisis de microscopia de inspección a la rotura. Con los resultados obtenidos se puede observar que la fibra natural, tiene distintas medidas y distintos espesores en varias zonas, tiene una marcada orientación de 90°, una absorción de humedad promedio del 61%, posee una buena resistencia térmica, una baja resistencia a la tracción, alta elasticidad cuando está trenzada y en sus fibras internas carece de nódulos concentradores de esfuerzo, como material compuesto no tiene mojabilidad con los recubrimientos externos de la fibra haciéndola inviable para uso como material compuesto en estas condiciones para una matriz de resina poliéster insaturada.

Palabras clave: Material compuesto, fibra natural, mocora, resina, poliéster, TGA, SEM, ensayo destructivo, automotriz, aeroespacial.

Abstract

The present research seeks to characterize the natural fiber of mocora and analyze its viability as a composite material that reinforces an unsaturated polyester resin matrix to give it applications in the automotive and aerospace industries. Due to the biodiversity of Ecuador, natural fibers would suppose a great contribution to the manufacture of mechanical parts as composite materials, but they have not been characterized, for that this research begins with the collection of fiber information. With the acquired fiber as it is sold by artisans, it is passed on to its characterization, taking measurements, a thermogravimetric analysis, industrial inspection microscopy, scanning electron microscopy, determination of moisture absorption, determination of its physical properties by means of standards. ASTM and observation of the reaction of the fiber to the resin. The mechanical characterization of the composite material is carried out, to generate the composite material, the volumetric fraction and orientation of the fiber is defined, thus, by means of ASTM standards, the test pieces and mechanical tests are made, taking advantage of the destructive tests, a microscopy inspection at break analysis is given. With the results obtained it can be seen that the natural fiber, has different measurements and different thicknesses in several areas, has a marked orientation of 90°, an average humidity absorption of 61%, has a good thermal resistance, a low tensile strength, high elasticity when it is braided and in its internal fibers it lacks stress concentrator nodules, as a composite material it does not have wettability with the external coatings of the fiber making it unfeasible for use as a composite material in this conditions for a unsaturated polyester resin matrix.

Keywords: Composite material, natural fiber, mocora, resin, polyester, TGA, SEM, destructive test, automotive, aerospace.

Introducción

Antecedentes

Normalmente la selección de un material viene dada por el diseño, en ocasiones (como esta) es al revés, donde un nuevo producto o la evolución de uno, nace debido al desarrollo de nuevas materias primas, para la selección en un diseño se da la posibilidad de tomar la opción “tradicional” pero esto limita a lo conocido e impide alcanzar la innovación (Ashby, 2005).

La selección material no se limita al diseño, se toma en cuenta la manufacturabilidad, el costo y el uso, además que tan solo la ingeniería no vende un producto sino también su aspecto y aplicación práctica (Ashby, 2005).

El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define materia bajo la filosofía Aristotélica como:” Principio potencial y pasivo que en unión con la forma sustancial constituye la esencia de todo cuerpo y subyace a cada una de las formas que se suceden” (RAE, 2017), mientras que la literatura por conveniencia los divide en 3 grupos: metálicos, poliméricos y cerámicos, a esta clasificación se le añaden los materiales compuestos y electrónicos (Smith & Hashemi, 2014).

La industria automotriz es una de las más interesadas en el uso de fibras naturales en productos interiores como paneles de puertas y forros de cajuela, pues es aquí donde hay mayor necesidad, de acuerdo con un reporte del departamento de ambiente, comida y asuntos rurales (DEFRA) del Reino Unido, se espera un incremento del uso de fibras naturales en un 54% por año debido a que constructoras de autos tanto europeas como americanas, han venido usándolo para alcanzar objetivos ambientales. En Estados Unidos 1.5 millones de autos operan con el uso de fibras naturales como son, yute, cáñamo y kenaf, como refuerzo de polímeros termoplásticos y termoendurecidos (Alves, et al., 2010).

Mientras que en el área aeroespacial la historia de los compuestos con fibras naturales empieza conjuntamente con este sector y actualmente estudios han demostrado que, materiales a base de fibra y matrices termoplásticas como termofijas, se pueden utilizar en paneles interiores de aeronaves, encontrando que cumplen con los requerimientos de resistencia al fuego como al calor, permitiendo una fácil reciclabilidad y disposición al final de su vida útil, a la vez que son más baratos y livianos que los paneles convencionales, donde los autores aseguran que por cada kilogramo de peso se puede reducir de 0.02 a 0.04 kg de consumo de combustible. Otra investigación realizada por el consejo de investigación científica e industria en Sudáfrica, trabajó en paneles reforzados con fibra natural en termofijos, dándole los procesos y tratamientos requeridos para cumplir con la Administración Federal de Aviación, obteniendo resultados superiores en temas inflamabilidad, humo y toxicidad (Balakrishnan, John, Pothen, Sreekala, & Thomas, 2016). También se compararon la fibra de vidrio tipo E con la fibra natural de cáñamo en una aplicación de estante para helicóptero, se encontró que en comparación con el acero, el cáñamo tuvo una reducción de peso del 55.6% y 57.6% para la fibra de vidrio, lo que representa un equivalente de ahorro en combustible de \$4000 USD, además que la manufactura es más barata y en el caso del cáñamo de ser fabricado en masa sería aún mayor (Scarponi & Messano, 2015).

Problemática

En el Ecuador en cuanto a fabricantes de partes automotrices existen varias empresas dedicadas, pero el estudio realizado por Cristina Escobar en 2016, demuestra que la producción anual de las autopartes más requeridas en mantenimiento preventivo no es abastecida, por lo que se recurre a las importaciones, habiendo en 2015 una demanda de 11'443.309 autopartes y se importaron 14'513.943, de cierta forma esto se da porque la importación desde china es más rentable que la

fabricación nacional. (Escobar, 2016), mientras que en el área aeroespacial la producción de partes es escasa. En cuanto al área de materiales compuestos, la investigación está en desarrollo y es preciso encontrar materias primas nacionales que puedan aportar a esta industria.

Justificación

Dentro de los intereses de investigación de la Universidad Internacional SEK (UISEK) y el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) los materiales compuestos son estudiados con miras a encontrar nuevas materias primas que sean bio amigable, económicamente rentables y tenga aplicaciones para la elaboración de partes de producción nacional. Con la caracterización de la fibra de mocora se analiza la viabilidad de este tipo de plantas para reforzar matrices plásticas y así tener un mejor conocimiento de lo necesario para poder obtener partes en diversas aplicaciones en diferentes áreas de la ingeniería.

Con la investigación de materiales extraídos y manufacturados en el Ecuador se podría satisfacer necesidades de partes y hasta la creación de nuevos ingenios, con esto la empresa ecuatoriana podría disminuir la dependencia de importaciones de materia prima o partes terminadas.

Adicionalmente el nuevo material e información que se obtenga del presente estudio será un aporte al conocimiento científico a nivel nacional e internacional, por lo que se plantean los siguientes objetivos:

- General
 - Caracterizar la fibra natural de mocora para refuerzo de un material compuesto de resina poliéster insaturado para aplicaciones automotrices y aeroespaciales.

- Específicos
 - Encontrar las propiedades térmicas y mecánicas de la mocora
 - Comparar las propiedades con otras fibras de refuerzo en materiales compuestos
 - Conocer la interacción de fibra y la resina poliéster
 - Definir las propiedades mecánicas del material compuesto
 - Determinar la factibilidad de aplicaciones para el material compuesto

Estado del arte

Materiales compuestos.

Dentro de la literatura universal no existe una definición satisfactoria de material compuesto, hablando en un nivel atómico las aleaciones metálicas o poliméricas por algunos son consideradas como compuestos, ya que estas se forman con distintos agrupamientos atómicos (Smith & Hashemi, 2014).

En la definición de compuesto Smith & Hashemi (2014) afirman: “un sistema de materiales formado por una mezcla o combinación debidamente dispuesta de dos o más micro o macro constituyentes, con una interfase que los separa, que difieren en forma y composición química y son esencialmente insolubles entre sí” (p.453).

En la subdivisión de materiales de Ashby, los compuestos entran en la categoría de híbridos que es la combinación de dos o más materiales, con una configuración y escala determinada donde se combinan 2 o más familias, obteniendo así las propiedades más atractivas y evitando las desventajas de cada una (Ashby, 2005).

Aunque los materiales compuestos pueden ser de muchos tipos, se concentrará en los predominantes que son los fibrosos, es decir aquellos que tienen fibras en una matriz, a su vez,

estos tienen diferentes configuraciones y se clasifican en compuesto de matriz metálica (MMC), compuesto de matriz cerámica (CMC) y compuesto de matriz polimérica (PMC) (Smith & Hashemi, 2014).

Los polímeros dentro del área automotriz han servido como matrices reforzadas por fibras para darle las propiedades que el automóvil requiere, estos son conocidos como materiales compuestos, las razones por las cuales estos son atractivos en áreas automotrices y aeroespaciales es porque combinan las propiedades de alta rigidez y resistencia junto a una baja densidad (Agarwal, Broutman, & Chandrashekhara, 2018), haciendo a los compuestos avanzados tan fuertes como algunos metales pero mucho más livianos, aunque la fragilidad del material supone una desventaja, esta es normalmente superada con la matriz adecuada, por ejemplo, la madera es un compuesto natural, ya que este se conforma de un arreglo de celulosa unida por la sustancia polimérica conocida como lignina y otros compuestos orgánicos, pero este es un arreglo natural no controlado por lo que no es algo homogéneo como lo es una barra de acero. De la misma manera es de lo más común encontrar fibras sintéticas para reforzar materiales poliméricos, las más utilizadas son las fibras de vidrio, aramidas y carbono, siendo las dos últimas las de mayor resistencia y baja densidad, pero a la vez las más costosas (Smith & Hashemi, 2014).

Una de las características de los materiales compuestos es que son anisotrópicos, el cual es un cambio en las propiedades mecánicas, térmicas o electrónicas dependiendo de la dirección en la que este se forme, dentro de la naturaleza se desarrolla esta propiedad para darle las propiedades más optimas de acuerdo con la función que vaya a cumplir la estructura. Un laminado de cuasiisotropo es un arreglo de igual número de laminados en direcciones de 0° , $+45^\circ$, 90° , -45° , dando en un grafitolepoxy propiedades iguales que a una aleación de aluminio del mismo

espesor, pero con la mejora de ser un 30% más liviano (Shackelford , 2005). El refuerzo de la matriz en un material compuesto puede ser en fibras o particulados, en el caso de las fibras estas pueden ser tejidas, aleatoriamente distribuidas, no tejidas y cortas. Las más utilizadas son las de forma textil bidimensional, estas al tener un espesor muy pequeño se las realiza en capas, lo cual se conoce como estratificación (Hernandez, 2002). Dentro de estos métodos se pueden realizar refuerzos híbridos, en los cuales se puede tener fibras naturales y sintéticas en configuraciones de emparedado, dando buenos resultados (Delgado, 2012). Como material compuesto la fibra de vidrio es la más común en la industria, esta puede ser fibra tipo E, la cual es más barata por lo cual es la más utilizada en industrias automotrices, mientras que la fibra de vidrio tipo S fue desarrollada originalmente para aplicaciones aeroespaciales y recubrimientos para misiles (Mallik, 2007).

Materiales poliméricos y biopoliméricos

Los materiales poliméricos son aquellos que cuentan con cadenas moleculares compuestas usualmente de materia orgánica. Nuevos polímeros son creados mezclando tipos diferentes, por ejemplo, elastómeros se mezclan con otros plásticos para obtener una mayor resistencia al impacto, dándole propiedades para tareas específicas (Smith & Hashemi, 2014).

Un polímero con base biológica puede ser degradable como no, esto depende de su estructura química y del ambiente donde se lo disponga, un biodegradable se lo puede definir como aquellos que sucumben ante foto degradación, oxidación e hidrólisis alterando al polímero y llevándolo a un proceso de degradación, al igual que a la descomposición enzimática por parte de micro organismos hacia el dióxido de carbono, metano, compuestos inorgánicos o biomasa en un periodo de tiempo. Los biopolímeros pueden ser obtenidos de la naturaleza y sintetizados con derivados del petróleo, el alto costo de estos comparado con plásticos tradicionales se da

principalmente por los volúmenes de producción, por lo que nuevas aplicaciones a este material es importante (Mohanty, et al., 2005) (Cooke, 1990), en la figura 1 se muestra una clasificación de biopolímeros.

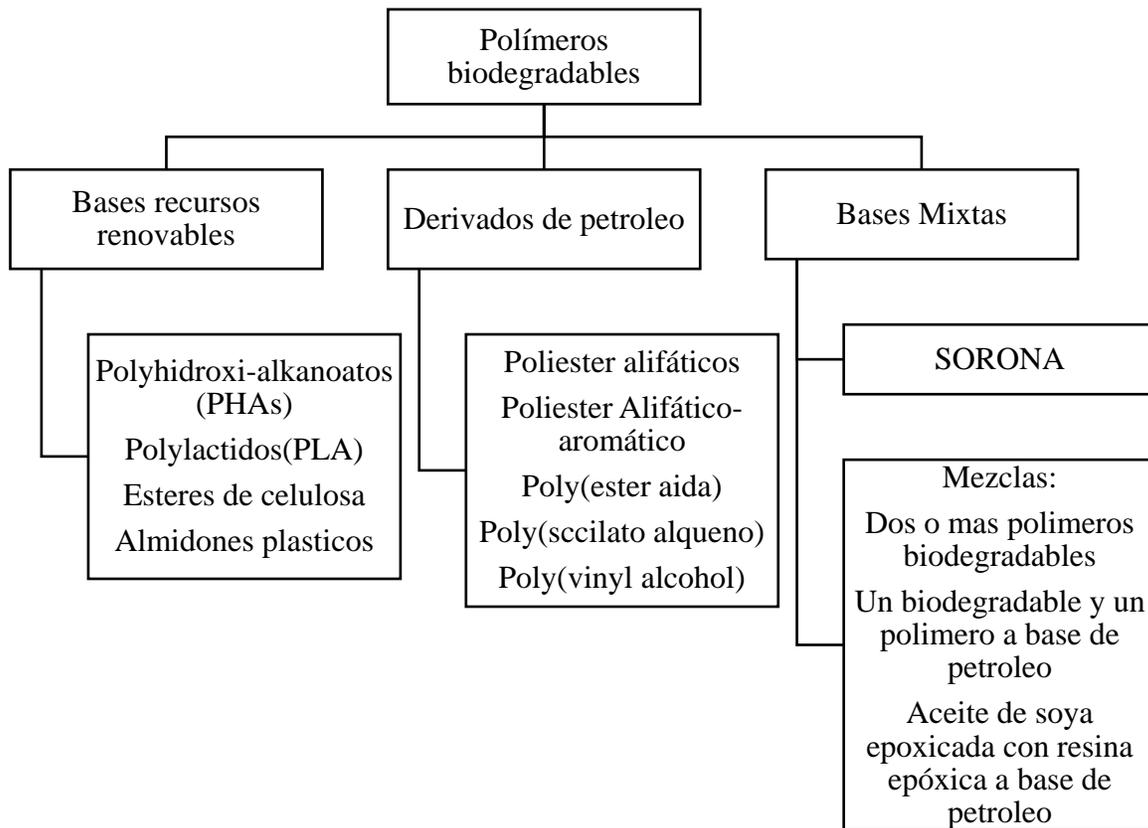


Figura 1. Clasificación de Biopolímeros (Mohanty, et al., 2005)

Para poder generar un material compuesto se requiere de una matriz y un material de refuerzo, en el área automotriz se han utilizado los termoplásticos como matrices de fibras largas, también se han utilizado los termoestables como matrices para la generación de alerones y pisos de carga (Rudd, 2000).

Los materiales compuestos por fibra natural y polímeros también son termoplásticos no degradables, es decir, estos no pasan por un proceso de degradación natural, pero, estos son sustentables debido a su característica de fácil reciclabilidad en comparación con los compuestos termoendurecidos. Los termoplásticos son los más comúnmente utilizados como matriz en

compuestos de fibra natural, dentro de estos se encuentran al polipropileno, polietileno, poliestireno, y polivinilo de cloro (PVC) (Väisänen, Das, & Tmpo, 2017).

Resina de poliéster insaturado

Los poliésteres insaturados lineales se enlazan en forma cruzada por moléculas de tipo vinilo como el estireno al haber agentes de curado, que son comúnmente los a base de peróxido como el peróxido de metil etil cetona (MEK) y usualmente también requiere de un activador de naftalanato de cobalto en pequeñas cantidades, de esta manera se cura el poliéster en temperatura ambiente. (Smith & Hashemi, 2014).

La resina poliéster es un material de baja viscosidad que se puede mezclar con grandes cargas y esfuerzos, por ejemplo, puede tener hasta 80% en refuerzo de fibra de vidrio y al endurecerse tiene una resistencia muy importante, al igual que propiedades de resistencia a sustancias químicas y de impacto, debido a su doble enlace de carbono-carbono estos reactivos se entrecruzan y forman termofijos, junto a la fibra de vidrio forman materiales compuestos de alta resistencia (Smith & Hashemi, 2014).

Para poder trabajar con esta resina en piezas pequeñas, se usan las técnicas de aspersión en molde o nebulización, en casos industriales cómo paneles de automóviles se utiliza el moldeo por descompresión. Otras aplicaciones del poliéster insaturado con refuerzo de vidrio son las de plataformas pequeñas de barcos, paneles de construcción, tanques, tuberías y ductos donde se requiere resistencia a la corrosión (Smith & Hashemi, 2014).

Por otro lado, el reciclaje de los termofijos es complicado debido a que no pueden ser remodelados como pasa con los termoplásticos, las tecnologías actuales para el reciclaje son las mecánicas, las cuales consisten en la trituración y pulverización de los elementos, esta pulverización puede llevar a la obtención de componentes básicos como carbonato de calcio, el

cual es usado en aplicaciones como el compuesto de láminas de moldeo, otra manera de reutilizar los termoestables es por aprovechamiento de energía mediante incineración (Pickering, 2005). Y aunque la despolimerización de esta resina es muy complicada, es reciclable mediante un proceso químico de glicolisis, en el cuál debe ser reconstruida con la adición de anhídrido maleico y estireno, obteniendo como resultado un producto apto para varias aplicaciones (Yoon, DiBenedetto, & Huang, 1997).

Resina cristalan 896

La empresa ecuatoriana Resinas y Químicos del Ecuador S.A (REQUIMEC), produce resina poliéster insaturado donde el producto cristalan 896 se usa para propósitos generales, esta es una resina ortoftálica no saturada con estireno monómero como diluyente, se recomienda almacenarlas a temperaturas menores a 25°C y por no más de 3 meses debido a su inestabilidad.

La empresa Requimec recomienda que para la formulación del Gel Coat que es la formulación para usos generales, la resina sea diluida con un 20% de estireno monómero, 0.03% de Octoato de cobalto al 12% y 0.03% de Mek próxido (REQUIMEC, 2016). Como se puede ver en la tabla 1, se encuentran detalladas sus especificaciones.

Tabla 1.

Propiedades de la resina

Resina Cristalan 896	
Contenido de sólidos	68 a 72 %
Viscosidad Brookfield a 25°C	2000 a 2200 centipoises
Color (A.P.H.A.)	Máximo 80
Indice de acidez	21 a 27 mg KOH/g resina
Apariencia	Líquido transpatente levemente amarillo
Tiempo de gel a 25°C	14 a 18 minutos

Fuente: (REQUIMEC, 2016)

Fibras naturales.

La fibra de vidrio presenta desventajas en su producción como impactos ambientales severos debido a que, la etapa de eliminación de residuos se da en vertederos o hasta la incineración sin

algún tipo de control de emisión de gases, el mismo hecho que sea un material fuerte lo hace más difícil para el medio ambiente de absorber ese desperdicio industrial (Alves, et al., 2010). Por esto, las fibras naturales han ganado interés especialmente como sustituto de la fibra de vidrio, donde las ventajas de estas sobre las artificiales son: bajo costo, baja densidad, secuestro de CO₂, fácil separación y biodegradabilidad (Mohanty, et al., 2005), inclusive, la energía necesaria para producir un mat de fibra de lino es el 17% de lo que requiere producir uno de fibra de vidrio (Holbery & Houston, 2006).

Los bio compuestos tienen el potencial de ser el nuevo material del siglo XXI y una solución parcial a problemas de cambio climático. En estos compuestos, la fibra sirve como refuerzo dando fuerza y resistencia, mientras que la matriz de plástico sirve como adhesivo para mantener un arreglo adecuado y que produzca estructuras (Mohanty, et al., 2005). Las fibras naturales para uso como refuerzo de materiales compuestos se dividen por su origen en: liber, que son yute, banana, lino, cáñamo, kenaf, por otro lado, las hojas tienen a la piña, sisal, pino, en las fibras frutales se encuentran, el coco, algodón y aceite de palma. Todas estas fibras tienen una base de celulosa, las cuales se componen de grupos hidróxidos moleculares, lo que hace que las fibras naturales sean hidrofílicas (George, Sreekala, & Thomas, 2001), en la figura 2 se muestra una clasificación de las fibras que sirven como refuerzo.

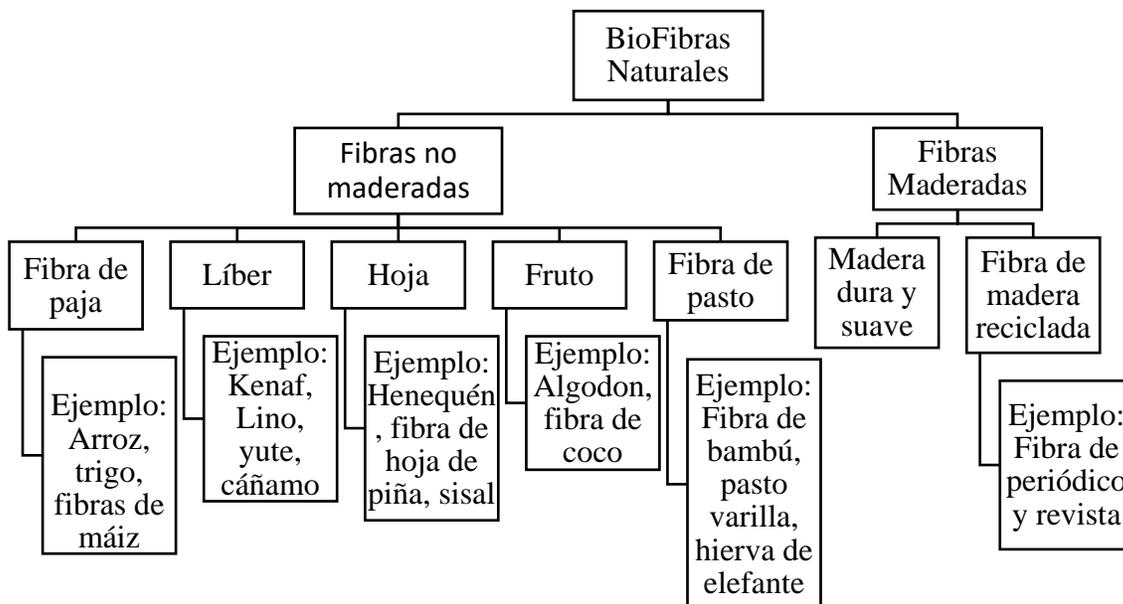


Figura 2. Clasificación de Biofibras Naturales (Mohanty, et al., 2005)

Las fibras naturales se biodegradan porque microorganismos identifican carbohidratos en la pared celular mientras que sus sistemas enzimáticos hidrolizan el polímero, transformándolos en alimento, la fibra pierde fuerza a medida que la celulosa se degrada por oxidación, hidrólisis, y reacciones de deshidratación, la degradación fotoquímica se da en el componente lignina por su susceptibilidad a la luz ultravioleta, lo que lleva a la erosión de las uniones de carbono (Chand & Fahim, 2008).

El desempeño mecánico del material compuesto reforzado con fibra natural depende mucho de la afinidad de los componentes, suele haber una adhesión pobre entre estos pues la fibra es hidrofílica mientras que el polímero es hidrofóbico, para superar estos inconvenientes usualmente se da un tratamiento químico o físico a ambos elementos (Chand & Fahim, 2008).

Por ejemplo, el uso de silano es una de las técnicas más importantes para modificar el componente natural, mejorando la humectación de la resina, donde la aplicación de esta restringe que la fibra sea absorbida creando conexiones con la matriz debido a uniones covalentes (Chand

& Fahim, 2008). En las tablas 2, 3 y 4 se muestran las propiedades mecánicas de algunas fibras de acuerdo con varios autores.

Tabla 2.

Propiedades físicas y mecánicas de algunas fibras

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Diámetro (μm)	Fuerza a la Tensión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Límite de elasticidad (%)
Lino	1.5	40-600	345-1500	27.6	2.7-3.2
Cáñamo	1.47	25-500	690	70	1.6
Yute	1.3-1.49	25-200	393-800	13-26.5	1.16-1.5
Ramina	1.55	-	400-938	61.4-128	1.2-3.8
Sisal	1.45	50-200	468-700	9.4-22	3-7
Abacá	-	-	430-760	-	-
Algodón	1.5-1.6	12-38	287-800	5.5-12.6	7-8
Coco	1.15-1.46	100-460	131-220	4-6	15-40
Fibra de vidrio	2.55<17	-	3400	73	2.5
Kevlar ^a	1.44	-	3000	60	2.5-3.7
Fibra de Carbono	1.78	5-7	3400 ^b – 4800 ^c	240 ^c – 425 ^b	1.4-1.8

Nota:

^aKevlar, Dupont, Switzerland.

^bFibra de carbono con módulo ultra alto

^cFibra de carbono con tenacidad ultra alta

Fuente: (Chand & Fahim, 2008)

Tabla 3.

Propiedades mecánicas de algunas fibras

Fibra	Diámetro (μm)	Fuerza última a la tensión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Límite de elasticidad (%)	Ángulo micro fibril (ángulo)
Algodón	-	500-800	0.05	-	-
Yute	25-200	460-533	2.5-13	1.16	8.1
Fibra de coco	100-450	131-175	4-6	15-40	39-49
Sisal	50-200	468-640	9.4-15.8	3-7	10-22
Lino	-	1100	100	-	-
Madera blanda	-	1000	40	-	-
Mesta	200	157.3	12.62	1.56	9.6
Hoja de piña	20-80	413-1627	34.5-82.51	1.6	14.8
Hierba Kuza	390	150.5	5.69	2.12	-
Fibra de palma	240	98.14	2.22	30.8	-
	80-800	143-263	9.8-13.3	3.6-5.1	-
	70-1300	180-215	4.4-6.1	2.0-2.8	-
Bambú	-	43-113	-	13.20	-

Fuente: (Chand & Fahim, 2008)

Tabla 4.

Propiedades de fibras naturales

Fibra	Densidad (g/cm^3)	Elongación (%)	Fuerza de tensión (Mpa)	Módulo elástico (Mpa)
Algodón	1.5-1.6	7.0-8.0	400	5.5-12.6
Yute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lino	1.5	2.7-3.2	500-1500	27.6
Cáñamo	1.47	2-4	690	70
Kenaf	1.45	1.6	930	53
Ramio	N/A	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22
Coco	1.2	30	593	4.0-6.0
Pulpa de madera	1.5	4.4	1000	40
Vidrio tipo E	2.5	0.5	2000-3500	70
Vidrio tipo S	2.5	2.8	4570	86
Aramida(std)	1.4	3.3-3.7	3000-3150	63.0-67.0
Carbón(std.PAN)	1.4	1.4-1.8	4000	230-240

Fuente: (Ku, Wang, Pattarachaiyakoop, & Trada, 2011)

Con estas tablas se muestra que las propiedades de las fibras naturales dependen mucho de variables como calidad, edad y composición al momento de la extracción, y aunque no sean tan fuertes como las fibras de carbono y kevlar algunas tienen una fuerza importante y otras tienen un módulo de elasticidad que igualan o superan a la fibra de vidrio (Chand & Fahim, 2008).

Fibra natural de mocora

La palma de mocora o también conocida como *Atrocaryum standleyanum*, mide entre 8 y 15 metros de altura, crece en la costa del pacífico desde Nicaragua hasta Ecuador, se la encuentra en la zona del litoral, en alturas entre los 200 y 500 metros sobre el nivel del mar, presentándose así en bosques húmedos de Esmeraldas, bosques secos y semi secos de Manabí, Santo Domingo, Los Ríos, Santa Elena, Guayas y El Oro. Esta florece y produce fruto durante todo el año, su pico de floración se da entre los meses de diciembre y enero que son el inicio de la estación lluviosa (Valencia, Montúfar, Navarrete, & Balslev, 2013).

El producto principal está en la fibra seca que se extrae de las hojas jóvenes, donde sus usos más importantes son los de manufactura de sombreros, tapetes, hamacas, muebles etc. En 2011 el quintal de foliolos subió hasta los 12 USD en época de escases, los cosechadores de calceta en la provincia de Manabí aseguran que la palma da 6 cogollos al año, y los cosechan intercaladamente 3 a 3 permitiéndole a los restantes expandir sus hojas y así haciendo la producción sostenible, en la figura 3 se muestra un juego de mueblería realizado con fibra de mocora (Valencia, Montúfar, Navarrete, & Balslev, 2013).



Figura 3. Muebles de mocora (Valencia, Montúfar, Navarrete, & Balslev, 2013)

Procesamiento de la fibra

Los artesanos de Manabí realizan la extracción, procesamiento y manufactura de productos a base de fibra de Mocora de una forma tradicional, donde el cosechado es de una manera no destructiva desde el suelo debido a la dificultad de trepar la palmera, se utilizan palos grandes con una navaja en la punta la cual puede ser curva tipo gancho o plana, con esta se recorta la hoja. La hoja cosechada debe ser vendida o procesada dentro de pocos días pues si esta se seca se encoge es más difícil de trabajar o hasta se pueden descomponer (Borgtoft, 1994).

El proceso de extracción se da con la remoción de la vena principal y las espinas, dejando 2 fibras unidas que serán hervidas, aunque este proceso no es mandatorio pues se lo hace para poder realizar un secado más rápido después se realiza el secado al natural, donde, al secarlo en sombra permite mantener el color de esta y el secado al sol hace que se blanquee, posteriormente se realiza un proceso de sahumar para que esta toma un tono más blanco. La fibra planchada puede ser trenzada o no para la aplicación que se le vaya a dar (Valencia, Montúfar, Navarrete, & Balslev, 2013).

Biocompuestos en la industria automotriz.

La industria automotriz es una de las más interesadas en nuevos materiales, pues se estima que para el año 2025, el parque automotor mundial alcance 1.4 billones de unidades (Cantor, Grant, & Johnston, 2008). Un tema que tomar en cuenta en la fabricación de autos es que, a través de los años se ha buscado el aligeramiento de estos, mediante el uso de aluminio, aleaciones y compuestos plásticos, pues no solo contribuye a la mejora de rendimiento del vehículo, sino que también permite cumplir normas de emisión reglamentarias (Kaluza, Kleeman, Fröhlich, Herrmann, & Vietor, 2017). El reglamento de ELV (End of Live Vehicle) de la Unión Europea aprobó que, desde el primero de enero de 2015, es requerido que el 85% del vehículo deberá ser

recuperado y reusado en materiales (Johnson & Wang, 2002). Como referente se tiene que, desde el año de 1997 el 7.4% del peso total del automóvil estadounidense promedio estaba hecho de plástico, lo que representaría entre el 10%-20% de los materiales utilizados (Smith & Hashemi, 2014).

La multinacional Daimler Benz junto a la UNICEF promovieron el programa “Poverty and Environment in Amazonia”, impulsando el desarrollo de aplicaciones de biocompuestos en los vehículos de Clase E y camiones de Clase A, comprobando así la factibilidad del uso de recursos naturales, haciendo a la zona de Pará económicamente productiva con beneficios a toda la población, el programa propuso a Mercedes Benz reemplazar la fibra sintética con fibra natural, luego de 3 años de investigación se realizó un plan piloto para la producción de apoya cabezas a base de fibra de coco, la cual recibió como respuesta de Daimler Benz incentivos tecnológicos para mejorar la producción y como consecuencia también se aseguró la producción agrícola en la amazonia (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

Aunque Mercedes Benz ha utilizado yute y algodón en los interiores de sus autos también se han desarrollado compuestos con características técnicas para los paneles de las puertas, pilares estructurales de la cabina, parte de asientos, parachoques, apoya cabezas etc. En los interiores se aprovechó sus características de aislante acústico y se aprovechó el beneficio que no se astilla en caso de un impacto (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

La tecnología utilizada para la manufactura de productos ha sido el moldeo por compresión con fibras de lino, algodón, sisal y mezclas, utilizando matrices de polipropileno que es un termoplástico, epóxico, poliuretano y termofijos como las resinas fenólicas, dependiendo de su aplicación (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

El uso de fibras en autos de serie es muy común, especialmente en los interiores, donde no se necesita gran fuerza ni durabilidad, así, las fibras naturales son bien utilizadas para reemplazar costos de materiales como fibras de vidrio, aramidas y de carbono. Espumas a base de soya se utilizan en los asientos del Toyota Matrix y RAV4, bioplásticos derivados de la caña de azúcar en las cajuelas del Toyota CT200, poliuretanos reforzados con lino y sisal se utilizan en los paneles de las puertas del Audi A2, fibras de abacá reforzada con polipropileno son usados en los recubrimientos de las llantas de repuesto de los Mercedes-Benz A-Class Coupe, en todos los casos contribuyendo a la reducción de peso (Jawaid, Sapuan, & Alothman, 2016), en la tabla 5 se aprecia el tipo de fibra, la aplicación y el modelo de auto que la utiliza.

En el Ecuador, un prototipo de capot realizado con resina epoxi y fibra de cabuya para una camioneta Mazda BT-50 2010 por parte de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE, arrojó un ahorro de fabricación de \$95.65 (Majarrés, Santillán, Guerrero, & Pachacama, 2015). Cabe recalcar que si el prototipo pudiese ser llevado a niveles industriales su costo podría ser aún menor.

Un estudio realizado sobre la evaluación del ciclo de vida (LCA) en reemplazo de fibra de vidrio por el de un material compuesto a base de yute en la estructura de un buggy, demuestra una mejora ambiental en el perímetro de este y por lo tanto en todo el vehículo, además de reducir el consumo de combustible por la reducción de peso, también se da un impacto positivo en el LCA en cuanto a producción y fases de desechos incluyendo escenarios de reciclaje (Alves, et al., 2010).

Tabla 5.

Compuestos de fibra natural en diferentes series de automotores

Material	Fibra	Resina	Parte preferida	En Producción
Fibrit HFFS	Fibra de madera	Dispersión de resina Acryl	IP, DP, Canal de aire	IP: Opel Astra, Zafira, Volvo V40 DP: Opel Astra, Zafira
Fibrowood	Mat de fibra de madera	Dispersión de resina Acryl	IP y DP, ajuste de asiento	IP: DC A-Class, New Compact car Mitsubishi Colt, Smart 44 DP: New Compact Car Mitsubishi Colt, Opel Astra, DC DP, C219
Fibropur	Lino, cáñamo, mat de fibra de sisal	Polyuretano	DP	DP: DC S/E-Class
Fibra natural-EP	Mat de fibra de liber	Resina Epoxy	DP	DP: BMW 5 series
EcoCor	Liber/fibra PP	Fibra de PP (termoplástico)	DP, Insertos, Ajuste de asiento	Insertos: Renault Clio Ajuste de asiento: Opel Zafira DP: DC W 251
Polixil	Arina de madera (placas extruidas)	Fibra de PP (termoplástico)	DP	DP: Fiat Punto, Bravo, Alfa 147, 155
Fibre Tec	Fibra de coco	Latex	Tapiceria de asiento	DC: Varias series

Nota:

DP: Panel de puerta

IP: Panel de instrumentos

Fuente: (Bledzki & Faruk, 2006)

Método

Esta investigación es de tipo científica básica por ser realizada de una forma sistemática, al caracterizar el material se obtendrá un nuevo conocimiento que repercutirá en investigaciones aplicativas (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010), tratando de resolver el problema de fabricación de partes en el país, buscando encontrar un posible sustituto a materiales tradicionales en partes mecánicas, la cual no solo responde a las necesidades mecánicas y ambientales, además que al ser producido con fibra natural endémica del país aporte a la generación de industrias nacionales y a la reducción de costos.

Se aplicará el método cualitativo recolectando información no numérica que será interpretada por su relevancia, mientras que se usará el método de medición cuantitativo para la recolección y análisis de datos numéricos (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010).

Obtención de la fibra

La cosecha de la fibra es de conocimiento empírico, este es el que nace de la experiencia del artesano más no conlleva una metodología formal (Morán & Alvarado, 2010), por lo cual se obtendrá la fibra desde el artesano procesada tradicionalmente.

En la zona de Calceta, provincia de Manabí, se encontrará la forma de procesamiento de la fibra de mocora, que ya no es una actividad común entre los artesanos y los pocos que aún lo realizan corroborarán el proceso ya expuesto por Valencia y Borgtoft en sus trabajos previos.

Por ser esta una investigación con fines académicos se abastecerá de un racimo de fibra simple y otro de fibra trenzada por el valor de \$4.

Caracterización de la fibra

Toma de medidas

La caracterización de la fibra empieza por realizar el proceso de alisado tradición debido a que esta tendrá ciertos enrollamientos debido al transporte a la ciudad de Quito, con este proceso se comparara su maleabilidad y resistencia, además que se la hará más fácil de trabajar, con esta se tomará medidas de todas las hebras adquiridas en longitud y ancho de la zona media, tomando el borde aglomerado como punto de inicio de la toma de medidas desechando las que no posean esta pues no están completas, luego se realizará un gráfico de dispersión y obteniendo un máximo y mínimo de las medidas tomadas y realizando un gráfico de caja y bigote.

Ensayos de tracción

La caracterización mecánica se hará mediante una máquina de ensayos universal, donde se le tomarán 10 muestras de fibras, las cuales por su ancho y espesor irregular serán medidas en distintas partes, obteniendo promedios de la muestra para luego realizar el ensayo a la tracción a la hoja simple por medio de norma ASTM D 2256-02, se tomarán 20 muestras para ensayos de tracción a la fibra trenzada para elongación bajo la norma ASTM 5034, en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. Se comparará los resultados de la fibra de mocora por medio de gráficos de caja y bigote.

Análisis de termogravimetría

El análisis de termogravimetría (TGA) se lo realizará con el equipo Pyris Perkin Elmer, con una muestra de fibra de 6.337mg, empezando con una temperatura de 40° en aumento de 15° por minuto hasta los 600°, en este se analizará el pico máximo de temperatura de degradación de la fibra por su velocidad de calentamiento (Betancourt, Gañan, Jimenez, & Cruz, 2009), y así tener

un conocimiento de la descomposición que el material enfrenta sobre la elevación de temperatura (Rodríguez & Villegas, 2012).

Microscopias

Mediante microscopia industrial de inspección se determinará si su disposición es axial, longitudinal o ambas, pues esta característica influye en sus propiedades mecánicas (Smith & Hashemi, 2014), también se examinará de cerca la fibra, en una zona de rotura, su borde natural y con un corte de navaja, usando el microscopio AMScope de iluminación led con WF 10X20, magnificación de hasta 90x y cámara de 5Mp.

La fibra será examinada por microscopia electrónica de barrido debido a que al haber contacto de fibras naturales con el polímero antes del curado esta se encoge y puede haber rotura en ciertos puntos donde se concentran esfuerzos (Biardo, Zini, & Scandola, 2004). La toma de imágenes de microscopia electrónica de barrido (SEM) se realizará con el equipo Vega 3 Tescan, con un HV de 20kV y 15kv, con una magnificación entre los 500x y 1.58kx.

Absorción de humedad

Debido a que esta es una fibra secada se realizarán pruebas de absorción de humedad pesando 50 muestras con una balanza electrónica de 0.01 g de precisión y posteriormente sumergiéndolas en agua destilada durante 24 horas, para volver a ser pesadas en su punto de saturación, el excedente de agua será extraído con papel absorbente (Moreno, Trujillo, & Osorio, 2007). Se tomarán muestras de 10 mm y para tener una comparación también se realizarán muestras que tendrán una longitud de 30mm de largo mientras que los anchos serán variables debido a la irregularidad de la fibra. El porcentaje de absorción se determinará mediante la ecuación 1.

$$\%absorción = \frac{P_h - P_s}{P_h} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P_h = peso húmedo

P_s = peso seco

Para poder apreciar mejor los resultados de absorción de agua, se tomarán 10 hebras completas y se les realizará el mismo procedimiento, dadas las propiedades naturales de la fibra para el pesaje se las hará un rollo envuelto en sí mismas, posteriormente con una pinza se sostendrá el rollo sin envolver, así serán introducidas en el vaso con agua destilada y luego soltadas, así conservarán una mejor uniformidad dentro del agua y de ser necesario se le agregará más líquido. Posteriormente mientras aún estén húmedas, se probará su fuerza en bordes de la forma tradicional, se les aplanará y dejara secar es una tabla al sol, ajustadas para que no pierdan esta disposición y se comparará su maleabilidad.

Modelo para moldes

Para poder realizarlas probetas con medidas normadas se requiere de la utilización de moldes, al utilizar el molde de acero de 3 partes del laboratorio de materiales de la UISEK, este modelo presenta cierta dificultad en su uso debido a que hay filtraciones de resina., por lo que necesitan ser comprimidos, se diseñará un molde que soluciones el problema de los derrames a un costo más conveniente que el de uno de metal.

Debido a que las probetas para las distintas pruebas tienen dimensiones distintas se diseñarán moldes que faciliten el trabajo, el modelado se realizará en CAD con el software NX, y se validará su funcionamiento por simulación CAE bajo el mismo software.

Para la realización de las probetas se diseñará un molde de madera de 7 slots, debido a que las pruebas de tracción requieren 5 probetas y se harán 2 adicionales en caso de algún accidente, el molde se diseñará de tal forma que impida que la resina se riegue, la madera permite que se reduzcan costos, la medida de los slots vendrá dada con norma ASTM D3039 con orientación de

90° de 175mm x 25mm x 2mm simulando una compresión de 1 tonelada. El mallado se tomará como referencia en automático, refinándolo cada vez con 7 simulaciones para tener un comparativo y asegurando que los resultados no superen los límites de resistencia del material.

Ensayos con resina

Curado de resina

La resina será adquirida de la empresa Resinas y Químicos Ecuador SA (REQUIMEC S.A), debido a que el uso de esta según el manual de la misma empresa sugiere, mezclar con estireno en un 20% del total de resina utilizada, añadiendo el catalizador MEK y activador de cobalto en una porción de 0.03% del peso de la resina tendrá un tiempo de gel de entre 14 a 18 minutos (REQUIMEC, 2016), se cambiará el porcentaje de catalizador y activador a 0.003%, de esta manera el curado tomará más tiempo evitando tensiones que hagan más frágil al material. Con esto se observará el proceso de curado de la resina con la fibra.

Durante el curado el material compuesto fleja debido a la reacción exotérmica del curado, en el caso de la resina no es mucho, pero al añadir fibra esta se doblega junto a la matriz, esto se solucionará al aplicar presión en las probetas al curarse.

Cálculo de densidades

Con estas probetas se buscará la densidad promedio de la resina y del material compuesto, mediante la ecuación 1 (Serway & Faughn, 2008). Donde para el pesaje de los elementos de utilizará una balanza electrónica de precisión de hasta 0.01g.

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Donde:

δ = Densidad

m = Masa

V = Volumen

En estudios previos se demostró que fibras como la de sisal que se componen de varias fibras pueden albergar aire por lo que la densidad es variable, por esta razón se asegura la eliminación de todo tipo de burbuja al momento de la generación de probetas (Tamayo, 2012).

Se calculará una densidad aparente de la fibra con la ecuación 2, tomando un espesor promedio, y los datos obtenidos de las muestras secas antes de la prueba de absorción de humedad.

Cálculo de fracción volumétrica

Conocidas las densidades de resina y densidad aparente calculada de la fibra se realizarán probetas con fracciones volumétricas de fibra de 15%, 25% y 35%, ya que las fibras no son uniformes para poder saber cuánta fibra representa el porcentaje de fracción requerida, se utilizará el volumen y la densidad calculada aparente de la fibra extrayendo la masa que es algo medible, tomando que la fibra tiene una dirección de 90°, se realizará el cálculo de probetas con norma ASTM D3039 de medidas 175mm x 25mm x 2 mm

Generación de probetas y ensayos

Con el molde validado y construido se realizarán las probetas de resina y fibra, con estas se llevará a cabo ensayos de tracción en máquinas universales, con mordazas de neumáticas y manuales, en este último caso se tendrá cuidado en el ajuste de tal forma que mientras se realice el ensayo la probeta requiera un poco más de ajuste si esta empieza a deslizarse, también se realizarán probetas con fibra triturada y pulverizada para conocer su mojabilidad y reacción a distintas configuraciones, se tamizará la fibra triturada para poder separar los elementos más pequeños, debido a que la fibra esta triturada su disposición en la probeta será aleatoria por lo

que sus dimensiones serán bajo la norma ASTM D3039 de 25mm x 250mm x 2.5mm (ASTM, 1997).

Determinación de aplicación y factibilidad de prototipo

Con los resultados obtenidos se determinará la factibilidad de aplicación en áreas automotrices y aeroespaciales.

Resultados

Información del artesano

Para enero de 2018 el quintal de foliolos se encontró en el mercado por el precio de \$20, la fibra procesada lista para ser usada se muestra en la figura 4.a.

El proceso de fabricación de útiles consiste en que, antes de ser trenzada la fibra es cortada con una longitud específica y si está encogida es estirada y aplanada en un borde curvo como se muestra en las figuras 4.b y 4.c respectivamente.



Figura 4. Fibra de mocora y su preparación

Dentro de esta parte exploratoria, se encontró que la fibra es vendida solamente en productos terminados (sobreros y petates), también que el artesano que confecciona estos no cosecha la fibra solamente la procesa y que esta actividad, debido a la falta de aplicaciones industriales, cada vez se está perdiendo.

Medición de la fibra

Al realizar el proceso de estiramiento se pudo evidenciar la plasticidad y resistencia a la tracción de la fibra, se muestra una comparación del estado en el que llegó en 5.a y la fibra después de ser estirada y aplanada en 5.b, en 5.c se realiza la misma comparación en una forma singular.



Figura 5. Estiramiento de fibra

Se encontró que el racimo adquirido contenía 103 ejemplares, de los cuales se tomaron sus medidas, en la tabla 6 se muestran los máximos, mínimos y promedios, en la figura 6 se muestra el gráfico de caja y bigote de estos datos y en la figura 7 se muestra el grafico de dispersión de longitudes y anchos.

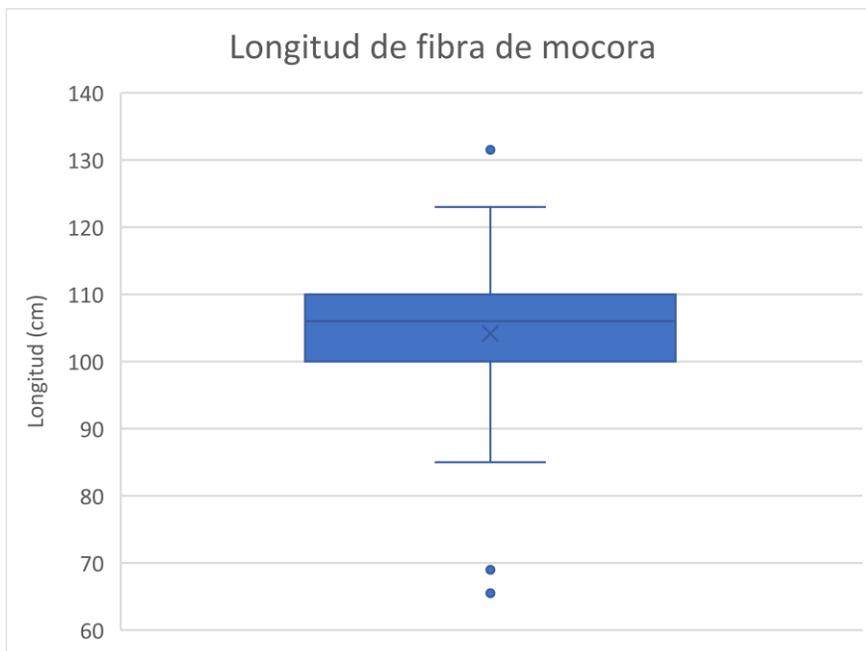


Figura 6. Caja y bigote de longitud de fibra

Tabla 6.

Medidas de fibra

Medidas de la fibra de mocora	
Longitud promedio (m)	1.0
Ancho promedio (mm)	14
Longitud máxima (m)	1.315
Longitud mínima (m)	0.655
Ancho máximo (mm)	22
Ancho mínimo (mm)	8

Fuente: Autor

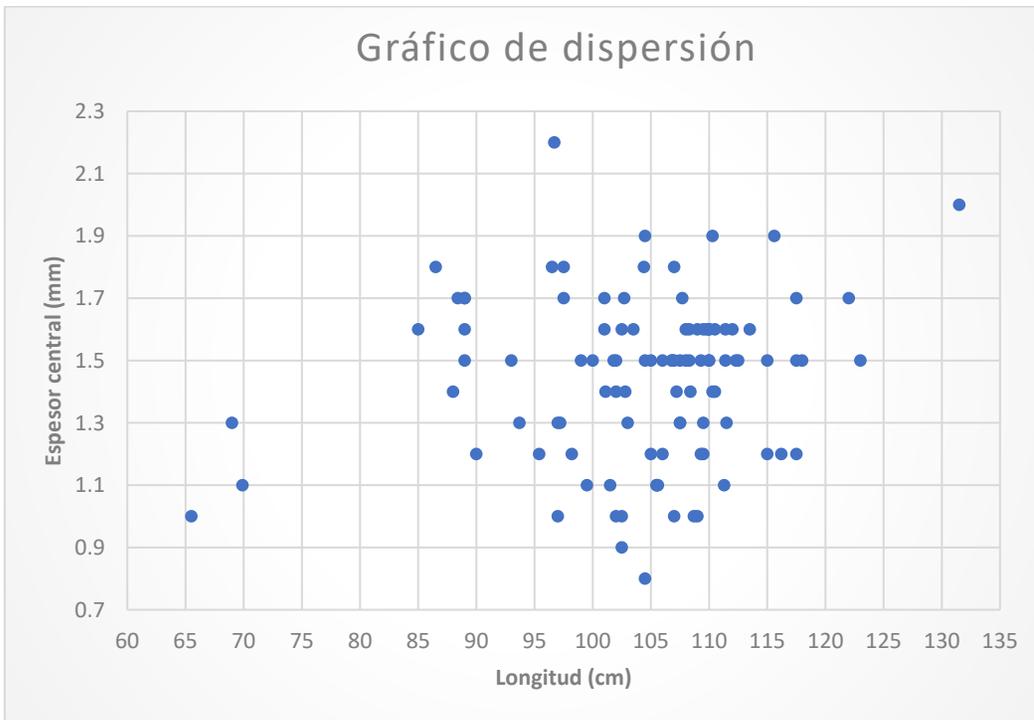


Figura 7. Gráfica de dispersión medidas

Con esto se puede ver que la fibra por un precio muy bajo puede ser adquirida en grandes cantidades las cuales tienen longitudes grandes aprovechables. En cuanto a los anchos es una

fibra bastante irregular, por lo que es importante el trabajo del artesano de cortar e igualarla antes de ser trabajada. También en la inspección, a simple vista y por el tacto se puede apreciar que la fibra está compuesta de varias fibras más, todas orientadas longitudinalmente con un ángulo de 90° tiene un anverso parecido a un laminado plástico y el reverso carece de este haciéndolo más rugoso.

Ensayo mecánico a la fibra

En la tabla 7 se pueden observar los resultados de los ensayos de tracción a la fibra simple, mientras que en la tabla 8 se muestran los resultados de ensayo a la fibra trenzada.

Tabla 7.

Ensayo a tracción fibra simple

Probeta	Carga [N]	Elongación [%]	Espesor Promedio [mm]	Ancho Promedio [mm]	Área [mm ²]	Esfuerzo [Mpa]
1	159.0	1.08	0.368	20.950	7.699	20.65
2	207.0	1.89	0.380	15.360	5.837	35.46
3	95.0	1.55	0.270	12.100	3.267	29.08
4	158.0	1.48	0.447	10.740	4.801	32.91
5	207.0	1.61	0.398	17.625	7.006	29.55
6	186.0	1.67	0.337	15.720	5.298	35.11
7	99.2	1.47	0.452	9.500	4.294	23.10
8	142.0	1.99	0.405	15.010	6.079	23.36
9	207.0	2.20	0.515	16.300	8.395	24.66
10	177.0	2.16	0.395	15.900	6.281	28.18
					Media	28.21
					Desv.est	5.21

Fuente: Autor

Tabla 8.

Ensayo a tracción fibra trenzada

Probeta	Carga (kgf)	Carga [N]	Elongación [%]
1	8.22	80.54	22.74
2	4.57	44.76	18.55
3	7.70	75.49	21.76
4	5.75	56.37	20.04
5	7.70	75.44	23.28
6	6.19	60.66	28.10
7	6.04	59.15	25.28
8	5.33	52.19	22.21
9	6.73	65.94	25.28
10	5.79	56.76	23.41
11	6.24	61.16	23.77
12	5.22	51.14	25.36
13	4.95	48.47	22.35
14	5.31	52.06	22.88
15	4.86	47.58	28.91
16	6.36	61.33	26.90
17	8.71	85.34	24.92
18	6.33	62.03	20.88
19	5.20	51.00	21.35
20	4.87	47.73	20.61
	Media	59.76	23.43
	Desv. Est.	11.61	2.69

Fuente: Autor

En comparación de la fibra de mocora con las propiedades de otros materiales en las tablas 2, 3 y 4, se puede ver que la fibra simple en cuanto a elongación está dentro de los rangos normales de fibras naturales, pero el esfuerzo de 28.21Mpa es muy bajo, adicionalmente en la figura 8 se puede apreciar los resultados de esfuerzo de la fibra simple en el gráfico de caja y bigote. En cuanto a la fibra trenzada su elongación de 23.43% es muy superior a la mayoría de los materiales comparados, solamente superada por la fibra de coco y otro tipo de palma, mostrando que de ahí se obtiene su característica de resistencia en las aplicaciones artesanales como muebles.

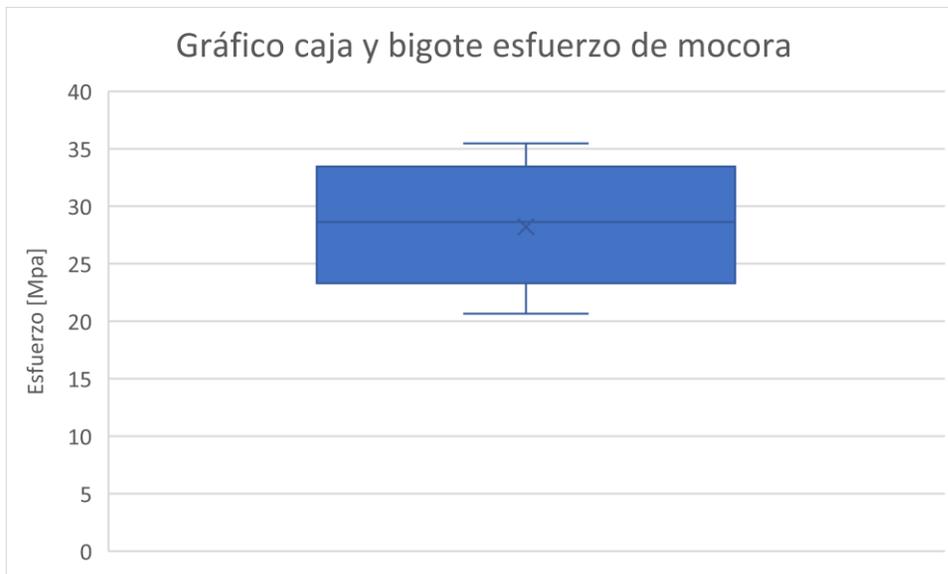


Figura 8. Caja y bigote de esfuerzo

Termogravimetría

En la figura 9 se muestra la gráfica de cómo se da la pérdida de masa vs el aumento de temperatura. Al iniciar la prueba la fibra tiene una temperatura de 36.85°C y su masa se ha visto reducida a 6.31 mg, al cabo de un minuto la temperatura de la muestra alcanza los 38.55 °C y tiene una masa de 6.29 mg, de este punto en adelante empieza el aumento de temperatura controlada, la muestra al haber alcanzado los 100°C tiene 6.03 mg de masa lo que significa que ha perdido 4.48% de masa, dado que esta es la temperatura de ebullición se puede decir que este es el porcentaje de humedad de la fibra. A medida que va aumentando la temperatura la muestra continúa perdiendo masa, al cabo de 19.41 minutos pierde 1mg de masa, alcanza los 5.337 mg con una temperatura 314.25°C y una temperatura en la muestra de 314.52°C.

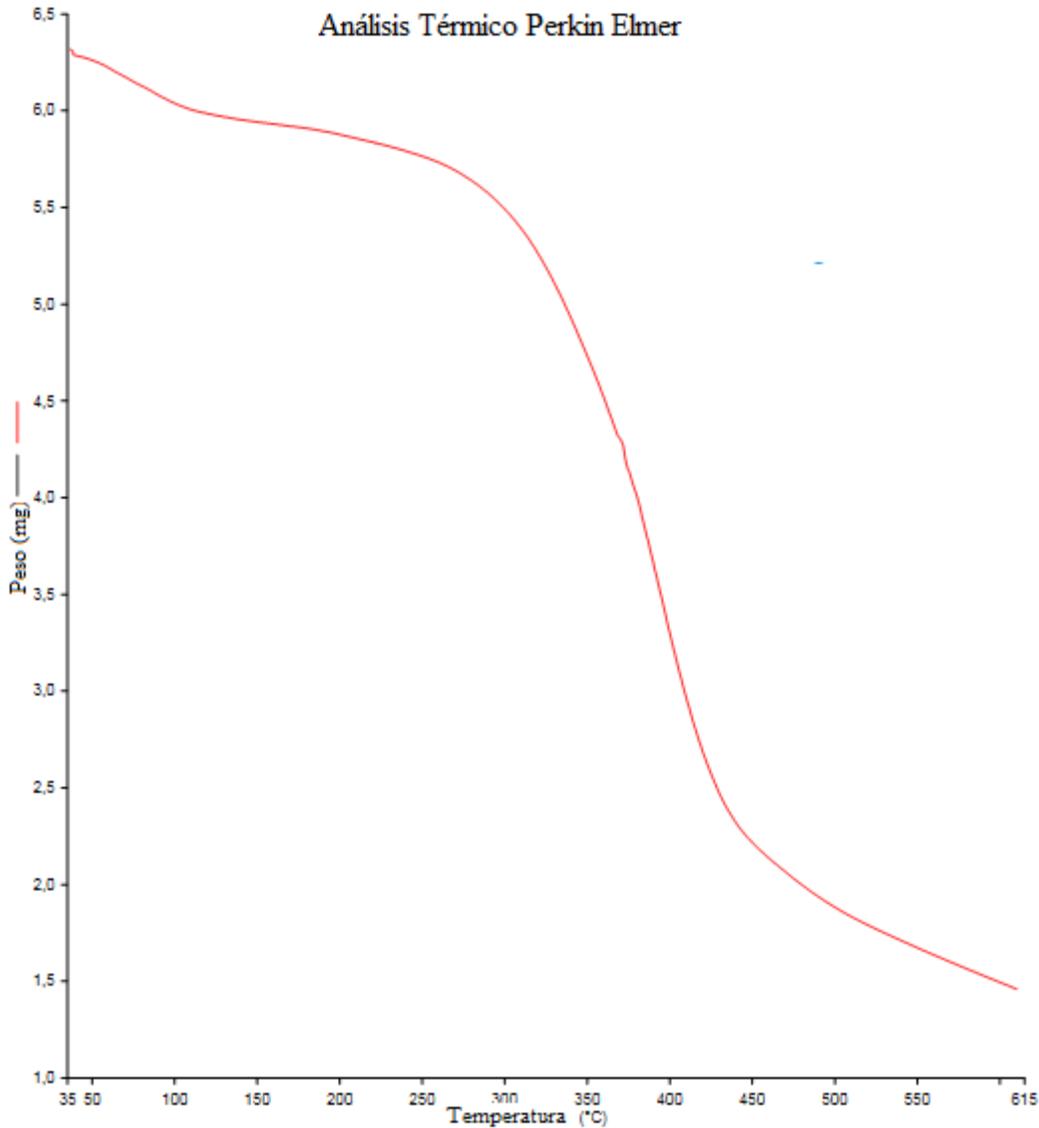


Figura 9. TGA

En la figura 10 se muestra la comparación de curvas TGA de lino, algodón, cáñamo, kenaf y sisal, en esta gráfica se ve que la fibra de sisal es la menos resistente de todas y que la fibra de mocora al tener la caída alrededor de los 300°C se puede situar por sobre el cáñamo, kenaf y sisal. Por último, el pico de máxima degradación se da cerca de los 430°C, a partir de este momento solo quedan residuos, en este punto la mocora es más resistente a todas las otras fibras con las que se las comparó.

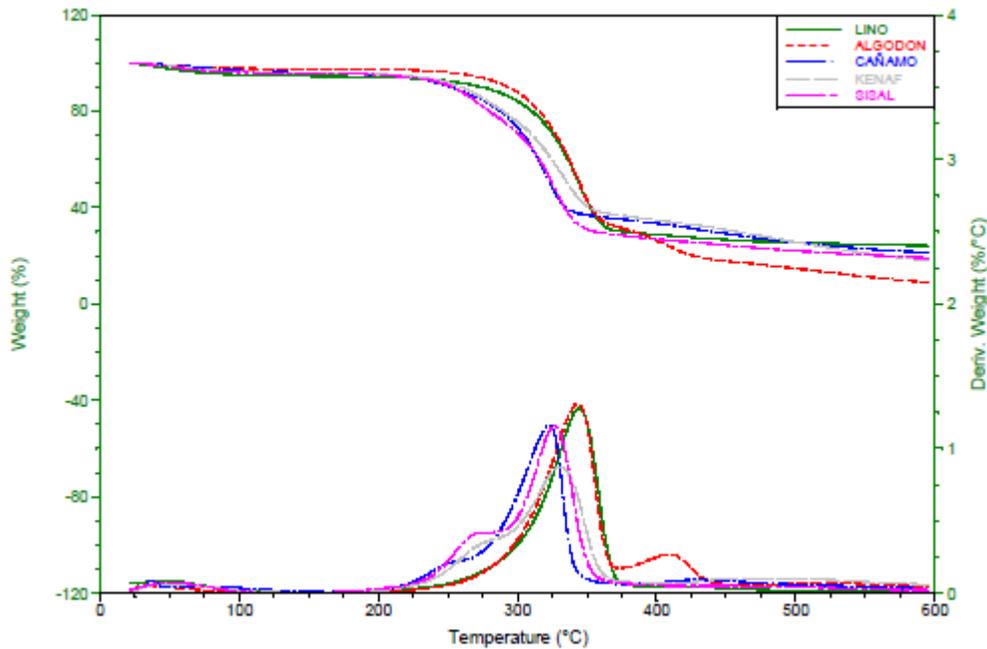


Figura 10. TGA varias fibras (Salvador, et al., 2008)

Microscopias

En la figura 11.a se muestra la microscopia de la fibra en su lado anverso, donde se puede observar que la dirección de la fibra es de 90°, cada línea longitudinal y cada espacio entre ellas es una especie de matriz natural.

En la figura 11.b se muestra una microscopia de un extremo, en esta se puede apreciar que las fibras y recubrimientos se encuentran muy bien compactadas y que las fibras longitudinales son de distintos diámetros habiendo una en particular que sobresale.

También se compara el reverso en 11.c y el anverso en 11.d en una zona donde se presentó una rotura, aquí se ve claramente que el anverso es más resistente y casi no sufre rotura, mientras que el reverso se rompe totalmente, pero se mantiene unido al anverso inclusive se lo puede ver.

Por último, en 11.e se muestra un corte con navaja, esta hubo una separación de parte del material diferenciando así las 2 capas

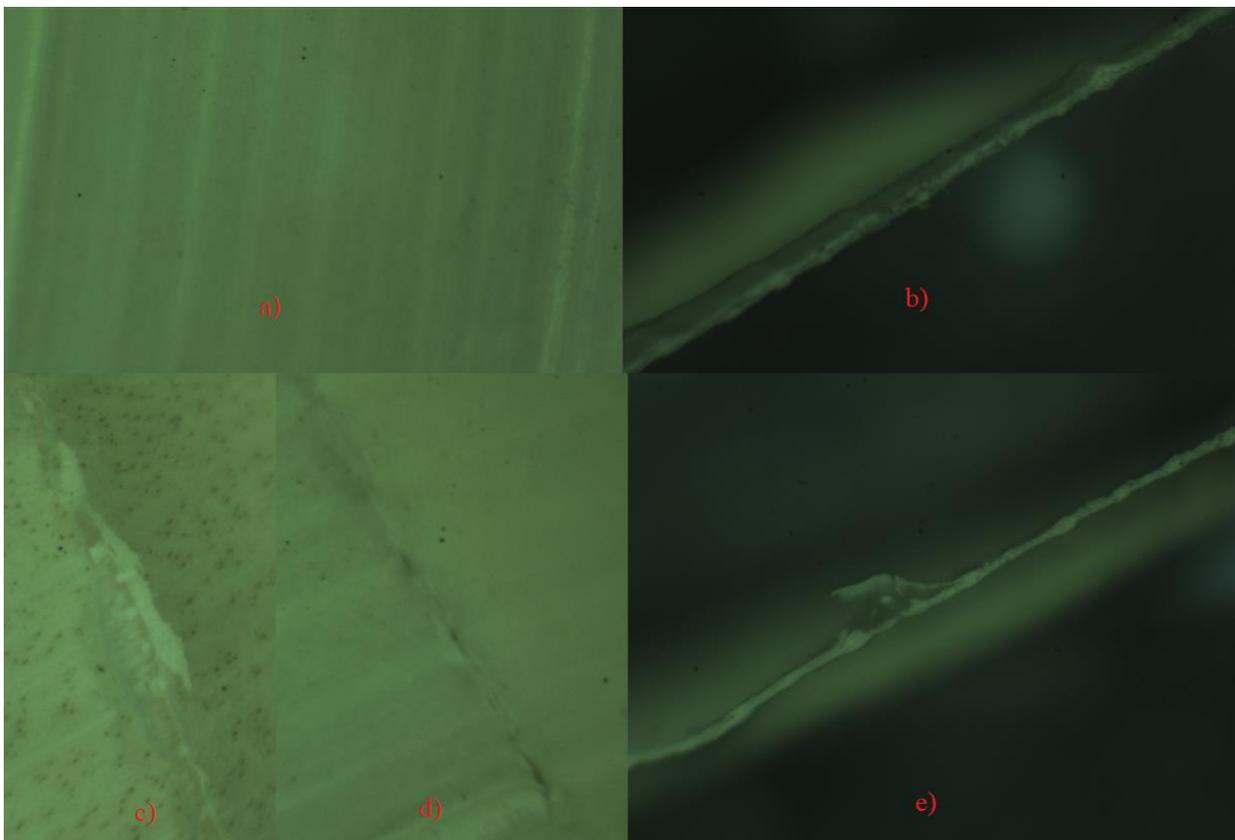


Figura 11. Microscopia de inspección a fibra

Las microscopias de inspección muestran como la mocora tiene 2 capas que albergan a las fibras internas, estas capas protegen a la fibra interna, siendo una más resistente. Las fibras internas tienen distintos diámetros y se comportan como un arreglo de matriz y refuerzo.

Por otro lado en la figura 12 se muestra la imagen de la microscopia electrónica de barrido (SEM), en 12.a no se puede ver nada más allá de la capa antes descrita, se observa que se compone como tipos de hojuelas, en la muestra se encontró una rotura lo cual permitió observar su interior, en la figura 12.b se ve que el recubrimiento tiene surcos donde la fibra interna se aloja, en esta misma zona se realizó un acercamiento que se ve en 12.c, aquí se aprecia como al parecer mientras la fibra va en un sentido, el recubrimiento mantiene una unión en el sentido contrario. En la figura 12.d se muestra el borde de la fibra donde había cierta exposición, en esta se ve como se constituye la fibra y una vez más se puede apreciar un surco.

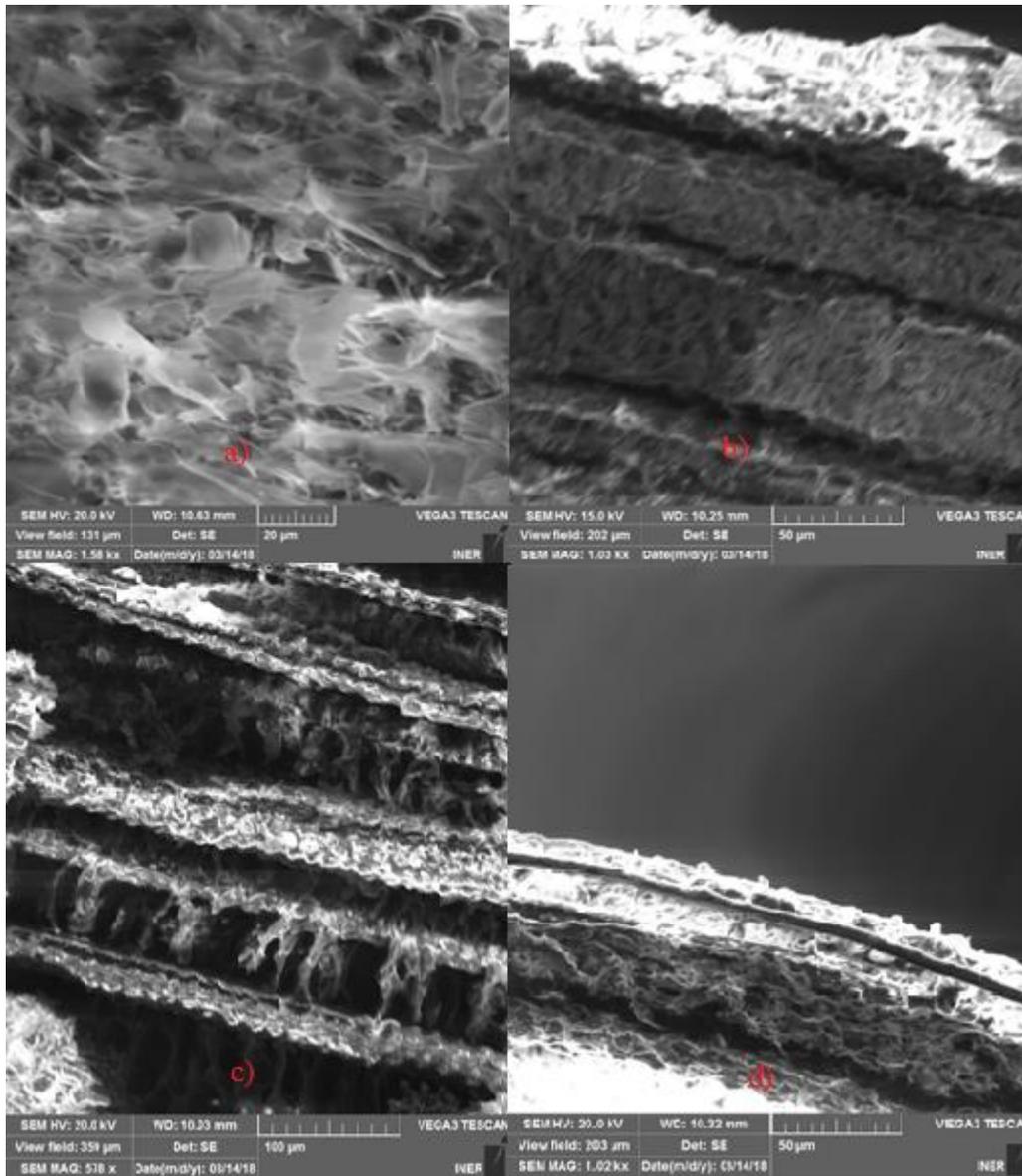


Figura 12. SEM fibra

Por último, en la figura 13 se pudo tomar la imagen de una fibra que quedó descubierta al haber sido rota la sección del recubrimiento.

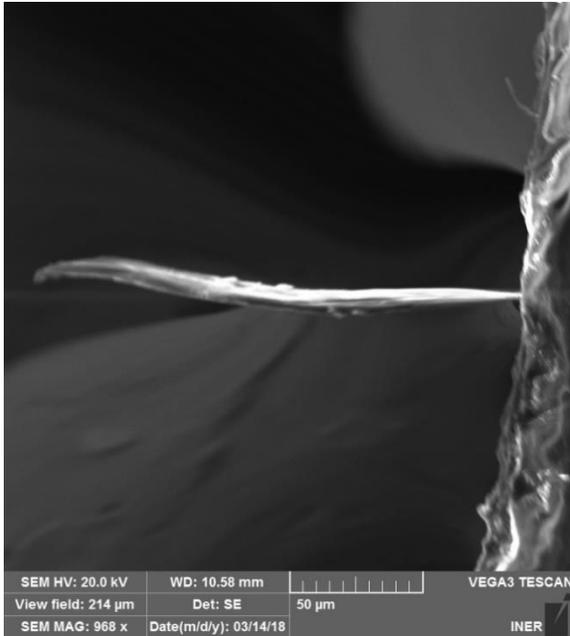


Figura 13. SEM fibra suelta

Las microscopias mostraron que la fibra posee recubrimientos, estos mantienen unida a las fibras internas, permitiéndoles trabajar juntas, una parte al ser más resistente a la rotura que la otra demuestra que estas también forman parte importante de la resistencia mecánica, por otro lado, todas son cuerpos distintos, al arrancar una sección, parte del recubrimiento es separado dejando a las fibras internas en su lugar, al no romperse con la misma facilidad se podría decir que son mecánicamente más resistentes que el recubrimiento.

Porcentaje de absorción de humedad

Es conocido entre los artesanos que la fibra tiene buena absorción de anilina, esta la utilizan para darle color a la fibra y usualmente la usan como adorno en sus sombreros, cabe recalcar que la absorción de la anilina no daña a la fibra por lo que se la puede trenzar y darle uso como se muestra en la figura 14.a.

Se realizaron muestras de fibra de 10mm de largo, con esta al realizar el pesaje en seco se encontró que eran muy livianas dando a todas un peso de 0.01g lo que no permitiría encontrar

una variación significativa después de absorber humedad, por lo que se descartaron y se utilizó la longitud de las muestras a 30mm, en la figura 14.b se muestra la comparación de ambas muestras.

Al introducir la muestra dentro del vaso con agua destilada se pudo observar que esta por su baja densidad flotaban y que, aunque fueran sumergidas no absorbían la humedad inmediatamente, hasta se podría decir que mostraban cierta impermeabilidad, estas características se las aprecia en la figura 14.c.

Después de haber dejado reposar un día, se encontró con que algunas muestras habían perdido flotabilidad pero solamente hasta medio vaso sin llegar a tocar fondo, el haberlas secado con papel absorbente se dio con mucha facilidad dejando a la superficie seca al tacto, realizado este proceso se volvieron a pesar las muestras mostrando un incremento de peso considerable en los especímenes, por lo menos duplicando su peso y en algunos casos hasta cuadruplicándolo, esta relación se muestra en la figura 15. En la figura 14.d se muestra el proceso para humedecer de manera uniforme las fibras enteras.



Figura 14. Absorción de humedad de fibra

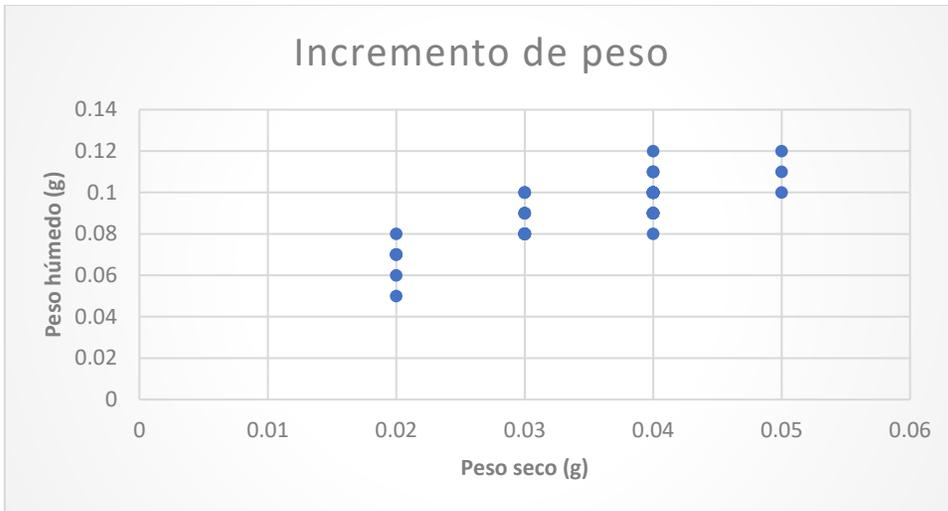


Figura 15. Incremento de peso

En la figura 16 se muestra de mejor manera la tendencia del incremento de peso dibujando una curva con ella.

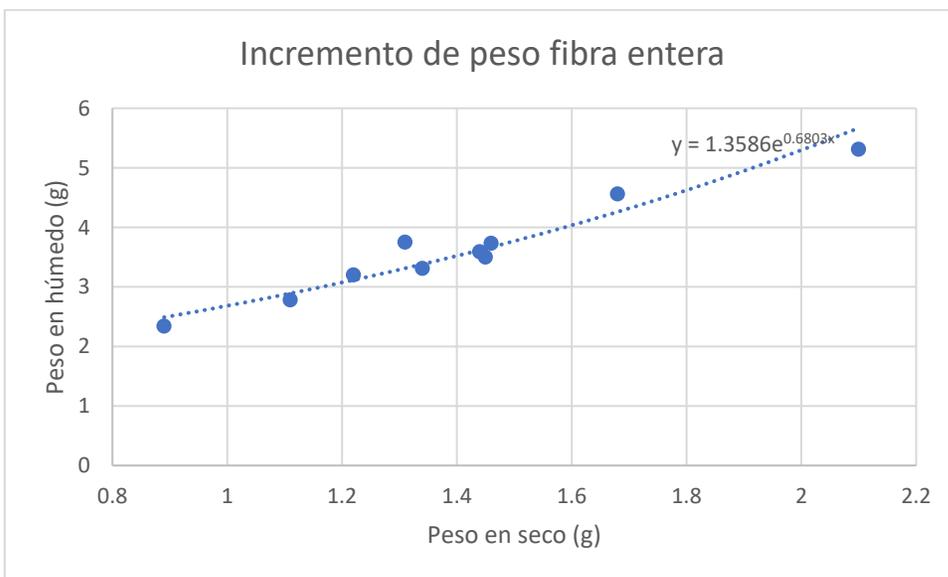


Figura 16. Incremento de peso fibra entera

Cabe recalcar que la fibra entera al ser humedecida presento una mejor maleabilidad y fue sometida al estiramiento tradicional como se muestra en la figura 17.a, esta no sufrió ninguna rotura por la tensión aplicada en ella mostrando que no hubo pérdida significativa de fuerza, pero si presentó una separación de capas por la fricción que se aprecia en la figura 17.b, esta se la

conoce por los artesanos como “Mocora sacada” realizan esta acción para tener un producto más fino.

En la figura 17.c se muestra las fibras húmedas y estirarlas en una tabla sujetas con cinta y sometidas al secado tradicional al sol, el resultado fue que las fibras en efecto mantuvieron la forma aplanada y se evitaron enrollamientos, también se puede apreciar la comparación entre un racimo de fibras secadas de la forma tradicional en 17.d y otra con el secado con sujeto plano en 17.e.



Figura 17. Pruebas a fibra húmeda

En cuanto a la absorción de humedad, se descubrió que esta también es variante entre muestras, en la figura 18 se observa un gráfico en el cual el porcentaje de absorción de humedad se compara con el ancho del espécimen, mostrando que no hay una relación directa entre estas, en las muestras completas tampoco se mostró una tendencia.

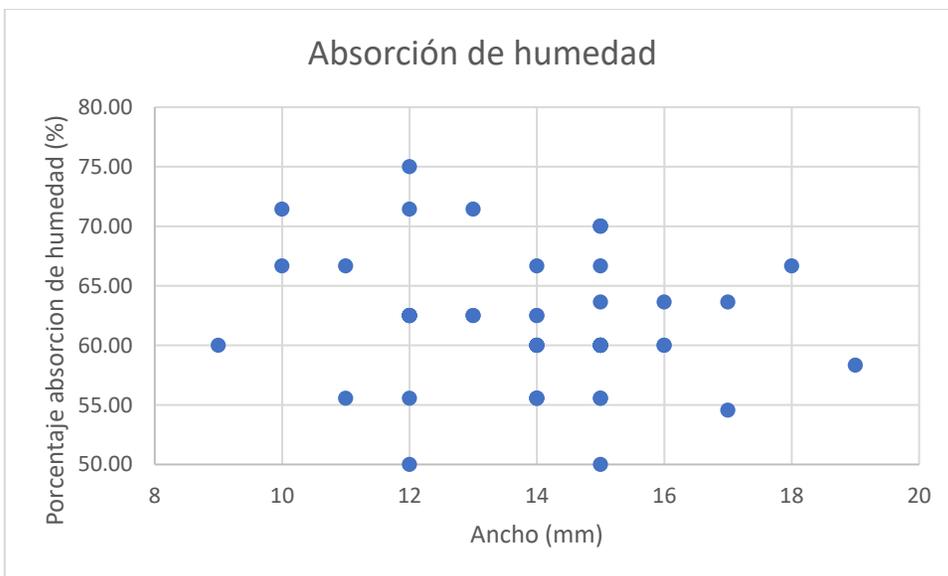


Figura 18. AH vs Ancho

En la tabla 9 se muestran los resultados del porcentaje de absorción de humedad en las muestras medidas, completas, y de ambos grupos, extrayendo el máximo y el mínimo, cabe recalcar que estos últimos se encontraron en el primer grupo.

Tabla 9.

Absorción de humedad

Absorción de humedad	
AH Promedio muestra (%)	61.76
AH Promedio Completa (%)	61.14
AH Promedio Total (%)	61.65
AH Máxima (%)	75.00
AH Mínima (%)	50

Fuente: Autor

Al haber encontrado que la fibra es más maleable en estado húmedo se la sometió a un secado al sol, pero de una forma aplanada y siendo sostenida para mantener esa forma, como resultado se obtuvo una fibra más dócil, de esta manera la fibra fue mucho más fácil de manejar y

transportar, este secado evitó que se realice el aplanado tradicional o planchado para su manejo, lo que sugiere que un secado en plancha a presión daría los mejores resultados para el manejo de la fibra.

Las microscopias de inspección demostraron que las fibras internas tienen distintos tamaños, lo que fue confirmado con la toma de espesores, debido a este factor es que no existe una correlación ni constancia entre el ancho de la fibra y su porcentaje de absorción de humedad.

Aunque la fibra presentó dificultades en la mojabilidad, su porcentaje de absorción de humedad fue alto, lo cual sugiere que dentro de sus aplicaciones se debe sellar los extremos de esta, así las capas darán una protección contra la humedad, inclusive se puede extraer solamente la capa protectora para aplicaciones antihumedad.

Generación de molde

En las figuras 19. Se muestra el diseño de un molde de 4 piezas que elimina los inconvenientes de derramamientos junto a sus partes y ensamble.

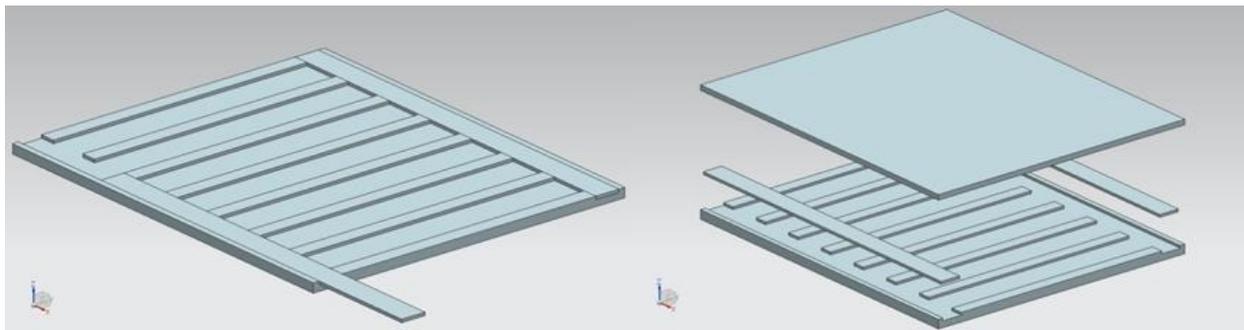


Figura 19. Diseño de molde

En la figura 20.a se muestra la respuesta al esfuerzo de Von Mises que resiste el molde diseñado con madera como material en todos los elementos del ensamble, una tonelada de peso y un mallado automático. En la figura 20.b se ve la simulación con un mallado con elementos de

4mm el cual dio el esfuerzo mayor, en la figura 21 se observa la gráfica de mallados frente al esfuerzo máximo en cada simulación.

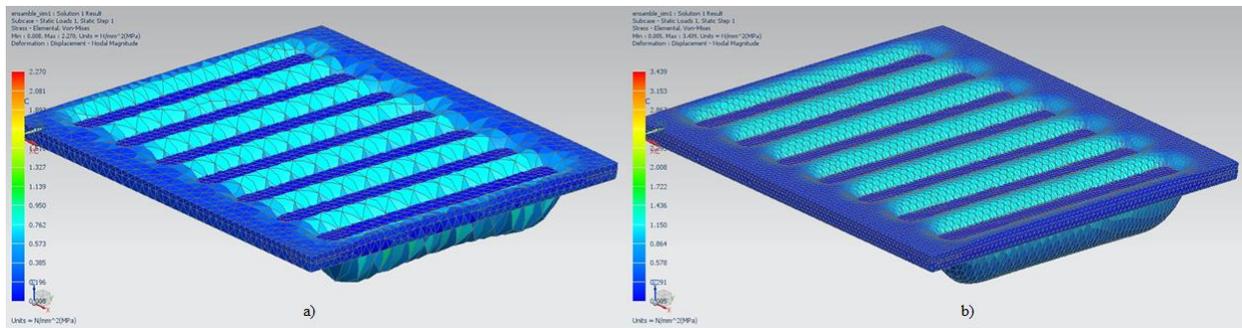


Figura 20. Mallado

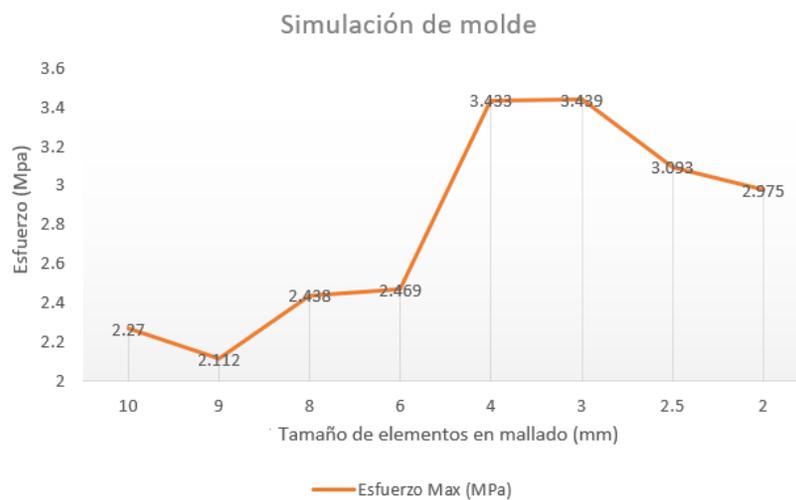


Figura 21. Esfuerzo vs Mallado

El modelo diseñado solucionó el problema de filtraciones de la resina, dando mejor uniformidad y compactibilidad, a su vez se simuló con madera y una carga de una tonelada dando como máximo un esfuerzo de 3.439 MPa siendo esta menor a los límites de compresión y fluencia de la madera que superan los 4Mpa, al poder realizar el molde con madera tuvo un costo de \$20 mientras que un molde de metal puede superar los \$100. Debe señalarse que al trabajar con madera se debe realizar un recubrimiento a la madera para que no absorba la resina y debe tenerse un conocimiento del tiempo de curado, pues es importante que se retire del molde cuando la probeta aún se encuentra en un estado vítreo.

En la figura 22 se muestra la comparación entre ambos moldes y en la figura 23 se muestra los restos de resina que evidencia el derramamiento en el molde de acero, cosa que se evitó con el molde diseñado.



Figura 22. Moldes



Figura 23. Restos de resina

Reacción de la fibra a la resina

En la figura 24.a. se comparan probetas de resina con probetas de resina y mocora, a continuación, en 24.b se ven varias probetas curvadas por efectos del encogimiento por el curado, aunque este no es igual en todos los casos se arregla aplicando presión durante el curado.



Figura 24. Pandeo de probetas

Más allá del pandeo esperado, no se encontró algún otro tipo de reacción degradante de la resina sobre la fibra.

Cálculo de densidad

En la tabla 10 se muestra los pesos de las probetas y la obtención de las densidades mediante la ecuación 2 con probetas de 175mm x 25mm x 2mm, y la obtención de la densidad de la fibra a partir de los promedios obtenidos se muestra en la tabla 11.

Tabla 10

Densidades por compuestos

$m_r(g)$	$\rho_r(g/cm^3)$	$m_c(g)$	$\rho_c(g/cm^3)$
8.81	1.01	10.75	1.23
9.77	1.12	11.27	1.29
9.57	1.09	10.98	1.25
8.72	1.00	8.78	1.00
8.48	0.97	9.9	1.13

Nota:

m_r : Masa de resina

m_c : Masa de compuesto

ρ_r : Densidad de resina

ρ_c : Densidad de compuesto

Fuente: Autor

Tabla 11.

Densidad aparente calculada fibra

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Masa (g)	Densidad aparente (g/cm ³)
1.9	3	0.04	0.05	0.2
1.6	3	0.04	0.04	0.2
1.7	3	0.04	0.04	0.2
1.8	3	0.04	0.04	0.2
1.6	3	0.04	0.04	0.2
1.6	3	0.04	0.04	0.2
1.7	3	0.04	0.05	0.2
1.5	3	0.04	0.03	0.2
1.5	3	0.04	0.03	0.2
1.5	3	0.04	0.03	0.2
Densidad aparente promedio				0.2

Fuente: Autor

En el cálculo de densidades se concluye que la fibra tiene una densidad muy por debajo de la resina, esto provocaría que, al realizar las probetas, de no haber una buena absorción de la fibra esta flote. Cabe aclarar que esta densidad es calculada y no toma en cuenta porosidades de la fibra, que puede haber tanto a la interna como en las capas externas.

Generación de probetas con fracción volumétrica y ensayos mecánicos

En la tabla 12 se muestra el cálculo de la fracción volumétrica (Fv) tanto para 15%, 25% y 35%.

Con la masa calculada se pudo obtener la cantidad de refuerzo que tiene cada probeta.

Tabla 12.

Cálculo Fracción volumétrica

Volumen total (cm ³)	FV 15%	FV 25%	FV 35%
8.75	1.31	2.19	3.06
Masa de fibra requerida (g)			
	0.26	0.44	0.61

Fuente: Autor

Conocidas las fracciones volumétricas se pudo generar las diversas probetas que se muestran en la figura 25, al intentar realizar los ensayos mecánicos las probetas fallaron al cerrar las mordazas neumáticas, en la figura 26 se muestra cómo se rompió una probeta con una fracción volumétrica al 15%.



Figura 25. Probetas



Figura 26. Rotura probeta Fv 15%

La rotura de la probeta con fracción volumétrica del 15% se da debido a que no refuerza a la resina, al momento que las mordazas neumáticas cierran debido al bajo espesor es rota y transmite la fuerza a un punto donde se concentra el esfuerzo, sin embargo, quien sufre esto es la resina más la fibra no y por eso se mantiene intacta, aquí se ve que la resina y la fibra no actúan como un solo cuerpo.

Se realizaron las pruebas con mordazas manuales como se muestra en la figura 27.a, al ajustar la probeta con fracción volumétrica de 25% está lista para ser ensayada pero una vez más el ajuste provocó una fisura en este caso en la zona de las mordazas, al realizar el ensayo la separación se da aquí como se ve en la figura 27.b.

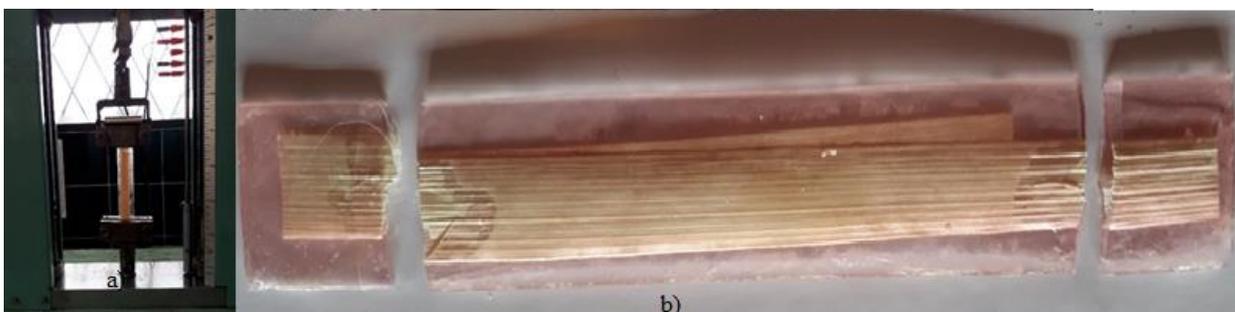


Figura 27. Rotura probeta Fv 25%

En el caso del ensayo a la probeta de fracción volumétrica 25% se dieron fisuras al ajuste, lo que significa que para la resina poliéster realizar probetas con 2mm de espesor puede ser muy frágil, aunque se ajuste manualmente, además que el refuerzo no está amortiguando la presión de las mordazas, al generar pequeñas fisuras es donde se da la rotura por sus fallas.

Sé volvió a probar con una probeta de fracción volumétrica de 35%, a pesar de los inconvenientes de ajuste se puedo realizar el ensayo, en la figura 28 se muestra como respondió la probeta al ensayo.



Figura 28 Rotura Probeta Fv 35%

Para la probeta de fracción volumétrica 35% con dificultad se pudo realizar el ensayo a tracción, se denota que la rotura no es uniforme, es decir primero se da la rotura de la resina pero la fibra sigue intacta, al igual que si estuviera dentro de una funda esta se desliza y continua la tracción sobre esta, posteriormente pasa lo mismo en la fibra con el recubrimiento y las fibras internas, al final se pueden distinguir estos cuerpos, se puede ver claramente que actúan independientemente pues no existe unión entre ellos más que una agarre superficial que al verse sometido a esfuerzo es desecho, esta incompatibilidad también se nota al examinar las probetas y ver que en algunas se presentan aberturas, burbujas u otras imperfecciones.

Al romper el material compuesto se reveló que la fibra no tiene ningún tipo de absorción a la resina, en la figura 29.a se muestra una probeta rota donde se ven varias fallas como burbujas, aunque la resina realiza un buen trabajo al encapsular la fibra, en la figura 29.b se muestra una microscopia donde apenas se puede diferenciar la resina de la fibra mostrando que la resina puede cubrir en su totalidad a la fibra.



Figura 29. Roturas y fallas

Posteriormente se pasó a la opción de realizar probetas con fibra triturada y pulverizada como se muestran en la figura 30.a. Se procedió a tamizar la fibra triturada para poder separar los elementos más pequeños en la figura 30.b se ve como dentro de los elementos más grandes se mantienen fibras internas y trozos de los recubrimientos



Figura 30. Fibra triturada

Debido a que ahora la fibra esta triturada su disposición en la probeta será aleatoria por lo que sus dimensiones bajo la norma ASTM D3039 será de 25mm x 250mm x 2mm, en la figura 31.a se muestra cómo se da la mezcla entre fibra y resina, en la figura 31.b se observan las probetas.

En la figura 31.c se aprecia un acercamiento a la probeta de fibra pulverizada, donde se ve que en un lado la concentración de fibra es superior a la otra debido a que al no haber una buena absorción tiende a flotar, además se puede ver que hay todo tipo de elementos, los cuadrados son los recubrimientos, largos son pequeñas astillas y las más delgadas las fibras internas. En la figura 31.d se ve la probeta con fibras trituradas donde se presentan los mismos inconvenientes que la fibra completa.



Figura 31. Probetas de fibra triturada

Con los resultados de la fibra en distintas configuraciones se puede ver que el recubrimiento no permite una adecuada absorción de la resina por parte de la fibra, lo que a su vez imposibilita la generación de un material compuesto que pueda generar un prototipado de pieza, por esto es que no se le puede dar una aplicación en áreas automotrices ni aeroespaciales, pues el material compuesto de fibra de mocora y resina poliéster no se puede dar por falta de mojabilidad de parte de la fibra.

Análisis y discusión de resultados

Elongación % de la mocora

La fibra de mocora no presentó buenas propiedades mecánicas, excepto en la elongación % de fibra trenzada casi igualando a una de las mejores que es la fibra de coco, por lo que, se compara la elongación % de la mocora con los datos de fibra de coco extrayendo los datos del anexo IV del trabajo “Obtención de un material compuesto de matriz elastómera y fibra de coco” de Slyvia Gallegos. (Gallegos, 2011), en la figura 32 se puede apreciar como mejora notablemente la elasticidad de la fibra al ser trenzada, también al comparar con la fibra de coco se ve que esta es superior, aunque en promedio son muy cercanos y la fibra de mocora es más fiable en cuanto a variación entre muestras. Cabe recalcar que el proceso de extracción y procesamiento de la fibra de coco es mucho más complicado que el de la fibra de mocora, además que la cantidad de mocora que se puede obtener lo hace muy barato.

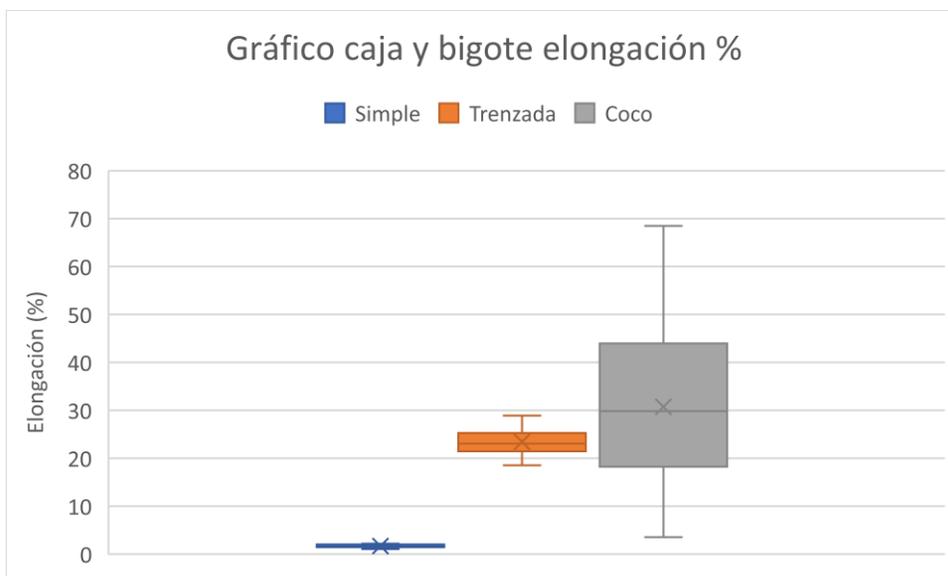


Figura 32. Caja y Bigote de elongación %

Resistencia térmica de la mocora vs sisal

En figura 33 se muestra la curva de TGA en la fibra de sisal en resultados de estudios previos, en la tabla 13 se puede ver que de igual manera a los 39.56°C esta ya ha perdido 3.886% de su masa mientras que la fibra de mocora a los 39.52°C alcanza una masa de 6.286 mg es decir 0.8% de su masa, a los 244.12°C en este punto la fibra ha perdido el 19.6% de su masa empieza una caída importante la mocora a esta temperatura alcanza una masa de 5.665 mg lo que representa una pérdida del 10.60%, un punto crítico que se da en la fibra de sisal es a los 275.08°C mientras que la mocora experimenta la misma caída de masa al verse próxima a los 300°C, en este punto la mocora ha perdido 13.58% de su masa y sisal cerca de 43.59%, esto quiere decir que la fibra de mocora es más resistente al sisal térmicamente, demostrando que la fibra de mocora es térmicamente superior, tiene propiedades de soportar al calor lo que haría que tenga un mayor retraso a prenderse en llamas en caso de un accidente

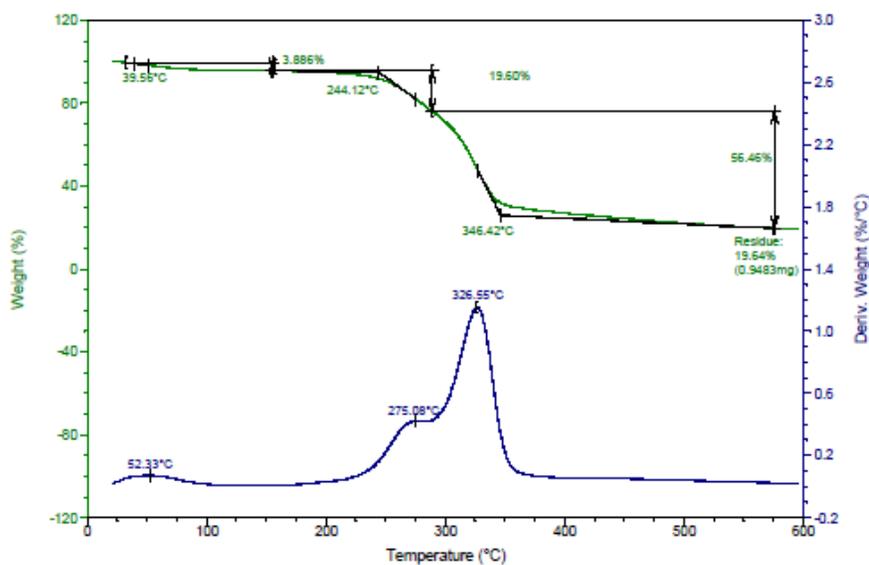


Figura 33. TGA sisal (Salvador, et al., 2008)

Tabla 13.

Comparación TGA mocora vs sisal

Temperatura [°C]	Mocora Pérdida de masa [%]	Sisal Pérdida de masa [%]
39.56	0.8	3.886
244.12	8.8	19.6
300	13.58	43.59

Fuente: Autor

Microscopias de la mocora

El SEM mostró que el recubrimiento es sellado, internamente tiene surcos que alojan a las fibras internas dándole zonas específicas para la unión. En comparación con la figura 34.a de una microscopia de barrido de una fibra de lino, se puede ver que la mocora es más ordenada y tiene una orientación definida, mientras que el lino es más caótico. Esto se debe a que la fibra de mocora divide sus fibras internas y las alinea en su recubrimiento mientras que la fibra de lino es aglomerada. También se encontró que la fibra longitudinal es totalmente uniforme, no tiene nódulos que concentren esfuerzos o que se rompan al encogerse por efecto de la resina como sucede con las fibras de lino como se muestra en la figura 34.b, esta condición la mejorar sus propiedades de elasticidad.

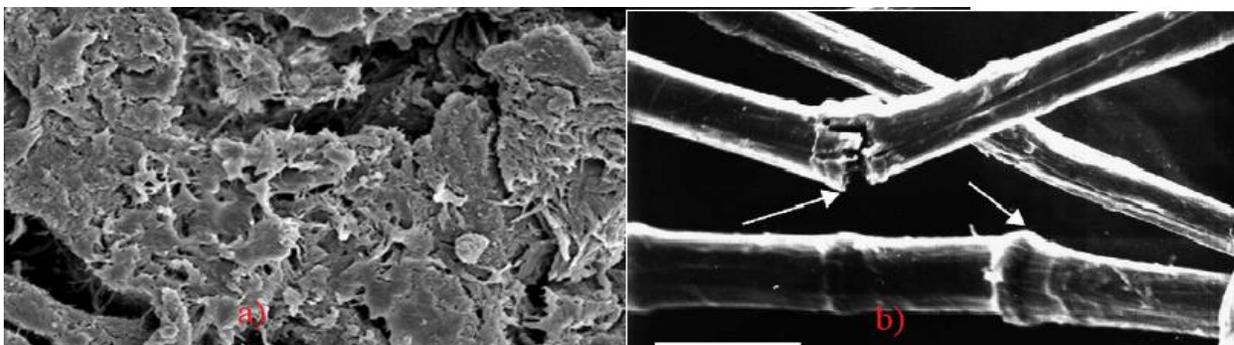


Figura 34. SEM lino (Biardo, Zini, & Scandola, 2004)(Salvador, et al., 2008)

Compatibilidad de resina poliéster y fibra de mocora

En comparación, el refuerzo de fibra de abacá con una matriz de poliéster tiene una buena mojabilidad cuando esta se encuentra en una fracción volumétrica de hasta 35% (Pontón & Guerrero, 2010)

En la figura 35.a se ve que tomando una fracción de la resina rota en las pruebas se puede diferenciar los surcos característicos de la mocora, esto quiere decir que la resina cubre totalmente a la fibra exteriormente pero nunca se una a ella.

Al triturar la fibra se puede diferenciar las fibras internas del recubrimiento, pero no se puede escoger solamente una parte para poder realizar las probetas, en la figura 35.b se muestra un acercamiento a la fibra triturada con resina, aquí se ve que las fibras internas tienen una adherencia a la resina, que a pesar de estar en el aire las gotas de resina no caen y se mantienen en la fibra interna, cosa que no sucede con el recubrimiento.

Al comparar el resultado con la figura 35.c, de una microscopia electrónica de barrido realizada en la fractura a tracción de un híbrido de fibra sisal con fibra de vidrio en una matriz de poliéster, se ve como las fibras están unidas por la matriz, donde en la superficie no se distinguen distintos materiales sino es un solo material compuesto.

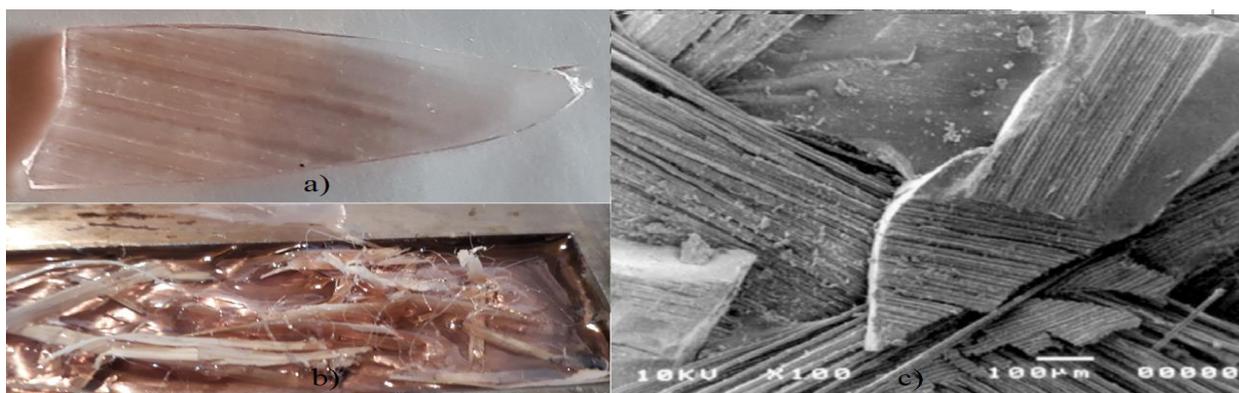


Figura 35. Compatibilidad de matriz con mocora vs sisal (Mishra, et al., 2003)

Conclusiones

Se descubrió que la resina y el recubrimiento de la fibra no son compatibles, sin ocurrir ninguna mojabilidad ni absorción por parte de la fibra.

Se encontró que la fibra de mocora tiene buena resistencia a la temperatura ya que esta entra al punto más crítico cerca de los 300°C, inclusive superando a algunas fibras como sisal y kenaf que tiene aplicaciones comprobadas.

Mecánicamente se encontró que la fibra de mocora tiene una pobre resistencia a la tracción como fibra simple, de 28Mpa cómo fibra trenzada tiene una gran elasticidad superior a varias fibras de uso en compuestos con 23% de elongación, microscópicamente al no tener nódulos no hay concentradores de esfuerzos que le da esa ventaja elástica.

Se observó que la resina contrae en el curado a la fibra y la encapsula.

Se conoció que la resina no es reforzada por la fibra y que mecánicamente la resina y la fibra trabajan por separado

Se definió que usar la fibra de mocora como refuerzo de resina poliéster no genera un material compuesto, es decir que esta no puede tener una aplicación en el área automotriz o aeroespacial

Se determinó que las aplicaciones que puede tener la fibra de mocora deben ser en el aprovechamiento de sus propiedades de impermeabilidad, térmicas y elásticas.

Recomendaciones

Dado que se dio una mejor mojabilidad en la fibra triturada y pulverizada para futuros estudios se recomienda probar con un tratamiento enzimáticos y químicos por parte de profesionales en ciencias biológicas que permita obtener porosidades y mejor mojabilidad con la fibra.

Debido a sus propiedades de impermeabilidad, se recomienda estudiar posibles aplicaciones de la capa protectora de la fibra en aplicaciones que tengan contacto con el agua.

Se recomienda continuar con estudios de viabilidad para el uso de la fibra de mocora como tapicería en automóviles y aeronaves, ya que, debido a su resistencia térmica, en comparación con otras fibras puede retardar la propagación de flamas en caso de accidente.

Se recomienda analizar el uso de la fibra de mocora trenzada como recubrimiento de asientos en el área automotriz y aeroespacial, debido a su alto porcentaje de elasticidad puede aprovecharse su amortiguación en caso de accidentes en comparación con otras fibras y por el tamaño superior al de las fibras de coco podría ser más económico su uso.

Se recomienda realizar más estudios con otros tipos de resinas.

La fibra de mocora demostró propiedades especiales en cuanto a elasticidad, impermeabilidad y resistencia térmica, por lo que se recomienda seguir estudiando más fibras endémicas del Ecuador, dentro de esta basta bio diversidad se puede encontrar alguna fibra con características térmicas y mecánicas importantes, a la vez que ambiental y económicamente sustentables.

Referencias bibliográficas

- Agarwal, B. D., Broutman, L. J., & Chandrashekhara, K. (2018). *Analysis and performance of fiber composites*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Alves, C., Ferrão, P., Silva, A., Reis, L., Freitas, M., Rodrigues, L., & Alves, D. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of cleaner production*, 313-327.
- Ashby, M. F. (2005). *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford: Elsevier.
- ASTM. (1997). *Standar Test Method For Tensil Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. Pennsylvania: ASTM.
- Balakrishnan, P., John, M., Pothan, L., Sreekala, M., & Thomas, S. (2016). Natural fiber and polymer matrix composites and their application in aerospace engineering. *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering*, 365-383.
- Betancourt, S., Gañan, P., Jimenez, A., & Cruz, L. J. (2009). Degradacion térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (Estudio cinético). X *Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales IBEROMET* (págs. 215-219). Cartagena: Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.
- Biardo, M., Zini, E., & Scandola, M. (2004). Flax fiber - polyester composites. *Composites: Part A*, 703-710.
- Bledzki, A. K., & Faruk, O. (2006). Cars From Bio-Fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 449-457.
- Borgtoft, H. (1994). Mocora Palm-Fibers: Use and Managment of *astrocaryum standleyanum* (arecaceae) in Ecuador. *Economic Botany*, 310-325.

- Cantor, B., Grant, P., & Johnston, C. (2008). *Automotive Engineering , lightweigh, functional, and novel materials*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Chand, N., & Fahim, M. (2008). *Tribology of natural fiber polymer composites*. Boca Ratón: WoodHead Publishing .
- Cooke, T. M. (1990). Biodegradability of polymers and fibers - A review . *Journal of polymer engineering*, 172-207.
- Delgado, F. R. (2012). *Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz de poliester reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- Escobar, C. (2016). *Estudio analítico de la oferta local de autopartes requeridas en procesos de mantenimiento preventivo para vehículos livianos que se encuentran ubicados en el Ecuador*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
- Gallegos, S. J. (2011). *Obtención de un material compuesto de matriz elastómerica y fibra de coco*. Quito: Escuela Politécnica Nacional del Ecuador.
- George, J., Sreekala, M. S., & Thomas, S. (2001). A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites. *Polymer engineering and science*, 1471-1485.
- Hernandez, H. (2002). *Desarrollo de un material compuesto para aplicacion estructural*. Mexico: InstitutoPolitécnico Nacional.
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de Investigación*. México: McGraw Hill.
- Holbery, J., & Houston, D. (2006). Natural fiber Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications. *JOM*, 80-86.

- Jawaid, M., Sapuan, S. M., & Alothman, O. J. (2016). *Green Biocomposites Manufacturing and Properties*. Gewerbestrasse: Springer.
- Johnson, M. R., & Wang, M. H. (2002). Evaluation policies and automotive recovery options according to the european union directive on end-of-life vehicles (ELV) . *Proceedings of the institution of mechanical engineers Part D: Journal Automobile Engineering*, 723-739.
- Kaluza, A., Kleeman, S., Fröhlich, T., Herrmann, C., & Vietor, T. (2017). Current design & life cycle engineering in automotive lightweight component development. *1st CIRP Conference on Composite Materials Parts Manufacturing* (págs. 16-21). Württtemberg: CIRP.
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites: Part B*, 856-873.
- Majarrés, F. J., Santillán, E. R., Guerrero, V., & Pachacama, V. (2015). Diseño , caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda BT50 2010. *ESPEL*, 1-9.
- Mallik, P. K. (2007). *Fiber reinforced composites: Materials, manufacturing and design*. New Jersey: Taylor & Francis Group.
- Mishra, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K., & Tripathy, S. S. (2003). Studies on mechanical performance of biofiber/glass reinforced polyester hybrid composites. *Composites science and technology*, 1377-1385.
- Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T., Selke, S. E., Harte, B. R., & Hinrichsen, G. (2005). Natural fibers, Biopolymers and Biocomposites: An introduction. En A. K. Mohanty, M.

- Misra, & L. T. Drzal, *Natural fibers, Biopolymers and Biocomposites* (págs. 1-35). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Morán, G., & Alvarado, D. G. (2010). *Métodos de Investigación Científica*. México: Pearson Education.
- Moreno, L. E., Trujillo, E., & Osorio, L. (2007). Estudio de las características físicas de haces de fibra guadua angustifolia. *Scientia et Technia año XIII*, 613-617.
- Pickering, S. J. (2005). Recycling technologies for thermoset composite materials - A review. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 1206-1215.
- Pontón, P., & Guerrero, V. H. (2010). Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster Reforzado con Fibras de Abacá Mediante Estratificación. *Revista Tecnológica ESPOL*, 47-54.
- RAE. (18 de Noviembre de 2017). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <http://dle.rae.es/?id=ObWMmRJ>
- REQUIMEC. (2016). *Cristalan 896*. Quito: REQUIMEC.
- Rodriguez, E., & Villegas, E. (2012). Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Métodos y Materiales*, 25-32.
- Rudd, C. D. (2000). *Composites for automotive applications*. Shropshire : Rapra technology.
- Salvador, M., Amigó, V., Nuez, A., Sahuquillo, O., Llorens, R., & Marti, F. (2008). Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas. *X Congreso Nacional de Materiales* (págs. 1-4). San Sebastian: Universidad Politécnica de Valencia.
- Scarponi, C., & Messano, M. (2015). Comparative evaluation between E-Glass and hemp fiber composites application in rotorcraft interiors. *Composites: Part B*, 542-549.

Serway, R. A., & Faughn, J. S. (2008). *Fundamentos de Física Volumen 2*. México D.F: Cengage Learning.

Shackelford , J. F. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid: Pearson Educacion.

Smith, W. F., & Hashemi, J. (2014). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México D.F: McGraw Hill.

Tamayo, N. A. (2012). *Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. *Revista tecnológica ESPOL*, 113-120.

Väisänen, T., Das, O., & Tmpo, L. (2017). A review on bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. *Journal of cleaner produccion*, 582-596.

Valencia, R., Montúfar, R., Navarrete, H., & Balslev, H. (2013). *Palmas Ecuatorianas: biología y uso sostenible*. Quito: Herbario QCA de la Pontifica Universidad Católica del Ecuador.

Yoon, K., DiBenedetto, A., & Huang, S. (1997). Recycling of unsaturated polyester resin using propylene glycol. *Polymer*, 2281-2285.