



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO ABACÁ-
POLIÉSTER EN EL DISEÑO DE CUADROS DE BICICLETAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JOEL ESTEVEN AGUILAR ZAMBRANO
DIOGO MARVIC GODOY TORRES
TUTOR: ING. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA, MSC.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Joel Esteven Aguilar Zambrano con documento de identificación N° 0706172145 y Diogo Marvic Godoy Torres con documento de identificación N° 0707040671; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 17 de julio del 2024

Atentamente,



Joel Esteven Aguilar Zambrano

0706172145



Diogo Marvic Godoy Torres

0707040671

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Joel Esteven Aguilar Zambrano con documento de identificación N° 0706172145 y Diogo Marvic Godoy Torres con documento de identificación N° 0707040671; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo académico: “Estudio para la implementación del material compuesto abacá-poliéster en el diseño de cuadros de bicicletas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2024

Atentamente,



Joel Esteven Aguilar Zambrano

0706172145



Diogo Marvic Godoy Torres

0707040671

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Esteban Ordoñez Segarra con documento de identificación N° 0103567863, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO ABACÁ-POLIÉSTER EN EL DISEÑO DE CUADROS DE BICICLETAS, realizado por Joel Esteven Aguilar Zambrano con documento de identificación N° 0706172145 y por Diogo Marvic Godoy Torres con documento de identificación N° 0707040671, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra, MSc.

0103567863

ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO ABACÁ-POLIÉSTER EN EL DISEÑO DE CUADROS DE BICICLETAS

STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF ABACA-POLYESTER COMPOSITE MATERIAL IN THE DESIGN OF BICYCLE FRAMES

Joel Aguilar Zambrano ¹, Diogo Godoy Torres ², Andrés Ordoñez Segarra ³

Resumen

Se realizó una investigación exhaustiva de varias fuentes bibliográficas para identificar las propiedades, caracterización y aplicación de los materiales compuestos con fibras vegetales. Se seleccionó el material compuesto abacá-poliéster y se elaboraron probetas estandarizadas para llevar a cabo las pruebas físicas de tracción utilizando una máquina universal de ensayos.

Los resultados experimentales mostraron que el compuesto de fibra de abacá-poliéster posee una combinación favorable de propiedades mecánicas, como alta resistencia a la tracción y buena flexibilidad. Para evaluar la aplicación del material compuesto en el diseño de cuadros de bicicleta, se realizó un análisis detallado de esfuerzos mediante el método de elementos finitos utilizando el software de simulación ANSYS. Este análisis permitió observar la deformación y resistencia del cuadro de bicicleta fabricado con el material compuesto abacá-poliéster, demostrando su viabilidad como una alternativa sostenible y eficiente a los materiales tradicionales en la industria de bicicletas.

Palabras Clave: Material compuesto, Fibras vegetales, Caracterización del material, Transporte ecológico, elementos finitos.

Abstract

An exhaustive investigation of various bibliographic sources was carried out to identify the properties, characterization, and application of composite materials with plant fibers. The abaca-polyester composite material was selected, and standardized test specimens were prepared to carry out physical tensile tests using a universal testing machine. The experimental results showed that the abaca fiber-polyester composite has a favorable combination of mechanical properties, such as high tensile strength and good flexibility.

To evaluate the application of the composite material in bicycle frame design, a detailed stress analysis was performed using the finite element method with the ANSYS simulation software. This analysis allowed for the observation of the deformation and resistance of the bicycle frame made with the abaca-polyester composite material, demonstrating its feasibility as a sustainable and efficient alternative to traditional materials in the bicycle industry.

Keywords: Composite material, Vegetable fibers, Material characterization, Ecological transport, Finite elements.

¹ Joel Aguilar, estudiante de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana

² Diogo Godoy, estudiante de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana

³ Andrés Ordoñez, docente de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana

1. Introducción

La Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible (PNMUS) en Ecuador, vigente desde 2023 y con implementación hasta 2030, establece medidas cruciales para reducir el consumo de combustibles fósiles, mejorar la planificación urbana y promover formas de transporte sostenible [1]. Estas políticas reflejan un enfoque integral para abordar los desafíos de la aglomeración urbana y el desarrollo económico, incentivando el uso de transporte alternativo como las bicicletas, destacadas por su contribución a la mejora de la calidad del aire [2].

Las bicicletas, como vehículos de tracción humana (VTH), no generan emisiones de gases de efecto invernadero, ofreciendo una solución efectiva para la movilidad sostenible. Su incorporación no solo mejora el acceso al sistema de transporte, sino que también reduce los tiempos de viaje y espera, optimizando el uso de energía y promoviendo la protección ambiental [3]. Un estudio específico en la parroquia La Matriz de Ambato demostró que el uso de bicicletas podría reducir las emisiones de $\text{CO}_2\text{-eq}$ de manera significativa. La reducción de GEI por el uso de la bicicleta varía entre $92\text{g CO}_2\text{-eq viaje}^{-1}$ a $810\text{g CO}_2\text{-eq viaje}^{-1}$ aproximadamente $0.5\text{t CO}_2\text{-eq p-año}^{-1}$, mientras que un automóvil típico de pasajeros ligero de gasolina extra emite aproximadamente de $4.6\text{t CO}_2\text{-eq p-año}^{-1}$, evidenciando el impacto positivo de la movilidad sostenible en la salud y calidad de vida [4].

El presente estudio se centra en la implementación de un nuevo material compuesto, basado en abacá-poliéster, para el diseño de cuadros de bicicletas. La investigación aborda la selección de materiales, los ensayos necesarios y los procesos de fabricación. Trabajos previos indican que las fibras naturales, como el abacá, no solo son sostenibles, sino que también ofrecen excelentes propiedades mecánicas, superando en muchos aspectos a las fibras sintéticas [5][6].

La fibra de abacá, conocida por su resistencia y durabilidad, se combina con la resina poliéster para formar un material compuesto adecuado para cuadros de bicicletas. Este material no solo cumple

con los requisitos de la matriz polimérica, sino que también demuestra ser una opción viable para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la fabricación de bicicletas [7]. Este estudio evaluará la calidad de las fibras de abacá y la matriz de resina poliéster, determinando su idoneidad y comparándola con otros modelos de bicicletas mediante análisis de elementos finitos [8].

La importancia de este proyecto radica en su contribución al desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles para la movilidad urbana. El uso de materiales compuestos con fibras naturales ha ganado interés significativo en diversas aplicaciones industriales debido a sus ventajas ecológicas y mecánicas. En particular, las fibras de abacá combinadas con resina poliéster presentan una oportunidad prometedora para el desarrollo de materiales sostenibles y de alto rendimiento. Este estudio se centra en evaluar la calidad de las fibras de abacá y la matriz de resina poliéster, determinando su idoneidad para su uso en la fabricación de cuadros de bicicletas.

Para llevar a cabo esta evaluación, es crucial realizar un análisis detallado de los esfuerzos y la resistencia estructural del material compuesto. Utilizando métodos de análisis de elementos finitos, esta investigación analizará la deformación y los esfuerzos del cuadro de bicicleta fabricado con el compuesto abacá-poliéster. Este enfoque permitirá determinar la viabilidad del material propuesto en aplicaciones específicas, como los cuadros de bicicletas, comparando sus propiedades mecánicas con las de otros materiales tradicionales.

Se espera que los resultados de este análisis proporcionen una comprensión profunda de las capacidades y limitaciones del material compuesto abacá-poliéster, validando su uso en la industria de bicicletas y destacando sus beneficios como una alternativa sostenible y eficiente.

1.1. Material compuesto

Los materiales se clasifican en metálicos, poliméricos, cerámicos y compuestos, estos últimos formados por la combinación de dos o más constituyentes de las otras categorías, con diferentes

formas y constituciones físicas [9]. Los materiales compuestos constan de una matriz continua y un refuerzo disperso, con interacciones físico-mecánicas significativas en la interfaz entre ambos, en la figura 1 se muestra el comportamiento de la interfaz destacando como influye en las propiedades mecánicas del material compuesto [9]. El uso de fibras naturales como refuerzo en estos materiales ha crecido rápidamente debido a preocupaciones ambientales sobre las fibras sintéticas [5].

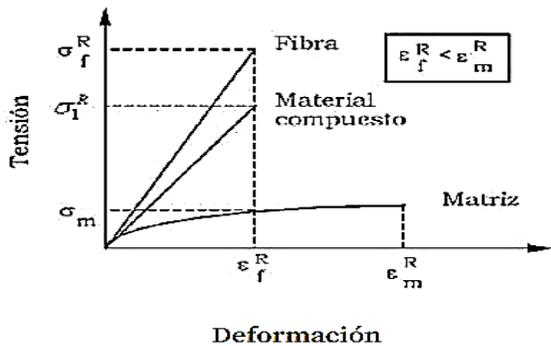


Figura 1. Propiedades mecánicas de la matriz, refuerzo y del material compuesto obtenido [9]

Las fibras naturales ofrecen ventajas como peso ligero, bajo costo, buenas propiedades mecánicas y capacidad de reciclaje, reduciendo desperdicios y emisiones contaminantes gracias al alivianamiento en el peso del vehículo generando ahorro de combustible [6]. Según Callister [12], las propiedades de los materiales compuestos dependen de la matriz, la interfaz y el refuerzo, este último influenciado por la forma, tamaño, distribución y orientación, como se ilustra en la figura 2, además, plantea que una de las principales combinaciones de materiales compuestos son aquellos reforzados con fibras, que presentan excelentes propiedades mecánicas: resistencia a la tracción y elevado módulo elástico, a partir de elementos bases de baja densidad tanto en la matriz como en la fibra.

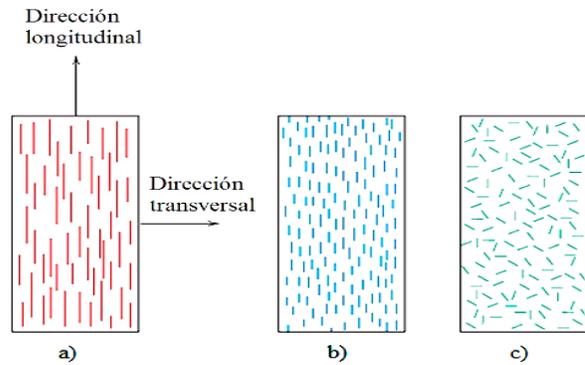


Figura 2. Orientaciones posibles de la fibra en un material compuesto.[10]

Los materiales compuestos, al combinar materiales de diferentes naturalezas, son más resistentes y livianos que los metales [11].

Tabla 1: Estructura de un material compuesto [12]

| MATRIZ | REFUERZO |
|---|---|
| Fase continua en la que el refuerzo queda "embebido" | Fase discontinua que se agrega a la matriz para mejorar sus propiedades |
| Define las propiedades físicas y químicas | Fibra de vidrio |
| Transmite las cargas de esfuerzo | Fibra de carbono |
| Bajo cargas compresivas, la matriz soporta el esfuerzo (fase continua) | Fibras orgánicas |
| En tracción, transfiere la carga aplicada a cada una de las fibras o partículas | Fibras naturales |

Una de las fibras que muestra un futuro prometedor es la fibra de abacá o cáñamo de manila, un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), demuestra que su adquisición economiza energía, además es conocida como la fibra más resistente, tiene propiedades como resistencia a la salinidad, resistencia mecánica flexibilidad y durabilidad [7].

En cuanto a la clasificación de las matrices en materiales compuestos, se distinguen las metálicas, cerámicas y poliméricas, siendo estas últimas las más comunes y conocidas como polímeros reforzados con fibras. El material poliéster en este caso es la resina se clasifica en el tipo de matriz polimérica por que consta de un polímero al cual se le incorporan fibras de abacá [12]. En el caso

específico del material compuesto mencionado, se emplea resina poliéster insaturada como matriz y fibras de calidad tipo 1, variedad Tangongon rojo, provenientes de Santo Domingo de los Tsáchilas[9].

La configuración básica de un material compuesto se detalla en la figura 3, resaltando su estructura fundamental [9].

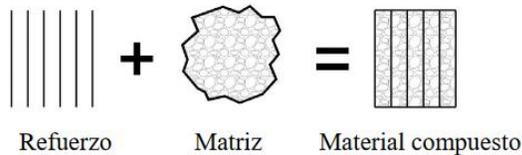


Figura 3. Configuración básica de un material compuesto.[9]

1.2. Cuadros de bicicletas

En la actualidad, la bicicleta es una opción amigable para el medio ambiente y trae beneficios para nuestra salud [13]. Conformada por varios elementos, pero la parte fundamental de este medio de transporte es el cuadro también conocido como "cuerpo" los cuales son fabricados con diferentes materiales explicados en la tabla 2. [14]

Tabla 2: Materiales con los que se fabrica los cuadros de bicicletas [14]

| ACERO | ALUMINIO | FIBRA DE CARBONO | TITANIO |
|--|--|---|---|
| Este es un material resistente, rígido, pero no demasiado, posee una cierta flexibilidad que le hace más confortable y absorbe bien las vibraciones en la carretera. | El aluminio lleva otras aleaciones esto con tal de hacerla más resistente ya que cuando se rompe lo hace de modo irreparable la que ruptura se mide en milímetros cuadrados. | Tienen un 35% de rigidez y soporte a la ruptura y fatiga, tiene una mejor amortiguación y es un material moldeable. | Es un material de rigidez y ligereza extrema, casi puede durar una vida entera al ser inoxidable, Para realizar un cuadro de titanio se tiene que soldar al vacío y a 1600 °C grados la cual resulta inicialmente caro. |

Para nuestro estudio, tomaremos como referencia un trabajo de fin de grado que incluye el diseño de un cuadro de bicicleta y su análisis

mediante elementos finitos. Una vez obtenidos nuestros resultados de los ensayos de tracción, estos se ingresarán en ANSYS para realizar una comparativa de resultados con los obtenidos en dicho trabajo de fin de grado. [8]

2. Materiales, métodos y resultados de los ensayos de tracción

2.1. Materiales

2.1.1. Fibra de abacá

El estudio de Diego Cazar y Susana Morán detalla la historia del abacá, señalando que esta planta, originaria de Filipinas, fue introducida en Ecuador por la familia japonesa Furakawa hace más de 50 años. La familia llegó a Santo Domingo en 1962 debido a las condiciones climáticas adecuadas para el cultivo del abacá y fundó la empresa Furukawa Plantaciones C.A. del Ecuador en 1963, dedicada al cultivo, venta y procesamiento de abacá para la fabricación de papel, y su uso en las industrias textil y automotriz [15].

Dado que la fibra de abacá será el refuerzo del material compuesto, es importante conocer sus características. El abacá es una fibra natural con células largas y delgadas, destacada por su resistencia mecánica, durabilidad frente al agua salada y longitud de fibra, que puede alcanzar hasta tres metros. Las fibras más valoradas son finas, brillantes, de color habano claro y muy fuertes [16]. Además, se la considera "la más resistente y durable del mundo", lo que incentiva su investigación y aplicación en diversos campos [17].

En el artículo "Absorción de Energía de un Material Compuesto Abacá-Poliéster en Pruebas Simuladas de Impacto", se menciona que los materiales compuestos de poliéster reforzados con fibra de abacá ofrecen buenas propiedades de absorción de energía y ventajas en densidad y coste. Las condiciones climáticas diversas de Ecuador favorecen la inversión extranjera en la producción de fibras naturales con múltiples aplicaciones [18].

La fibra será seleccionada por la calidad y por tamaños, para los primeros análisis se tomarán en cuenta las medidas de la norma ASTM D3039, en el cual se usarán las posiciones de fibras unidireccionales de 0° y 90°. (ASTM INTERNATIONAL, s. f.)

Tabla 3: Orientación de Fibra 0° Unidireccional [20]

| WIDTH mm | OVERALL LENGHT mm | THICKNESS mm |
|-------------|----------------------|-----------------|
| 15 | 250 | 1.0 |

Tabla 4: Orientación de Fibra 90° Unidireccional [20]

| WIDTH mm | OVERALL LENGHT mm | THICKNESS mm |
|-------------|----------------------|-----------------|
| 25 | 175 | 2.0 |

Para la obtención de la fibra, se extrae de la vaina de las hojas que rodean el tronco de la planta, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El proceso de obtención incluye varios pasos que serán descritos en la figura 4 [19].

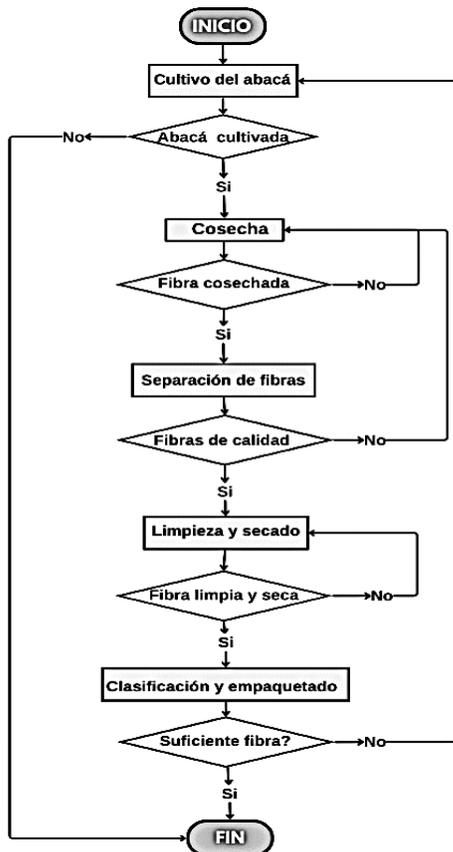


Figura 4. Proceso de obtención de la fibra de abacá

2.1.2. Resina epóxica

Una resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un catalizador. Es una de las clases más importantes de termoestables y se utiliza en materiales compuestos reforzados con fibra, adhesivos y revestimientos de superficies en diversas aplicaciones [21].

Este producto, obtenido a partir de reacciones químicas del petróleo, se presenta en forma sólida o líquida con un grado elevado de viscosidad. Al ser soluble y fusible, es la resina más utilizada como matriz en materiales compuestos, capaces de reaccionar con un catalizador para formar estructuras reticuladas, insolubles e infusibles. Estas estructuras poseen altas prestaciones mecánicas y resistencia a ácidos, bases y disolventes [10].

2.2. Proceso de elaboración de probetas

En este apartado se detalla el proceso de fabricación de las probetas, incluyendo las características de la fibra seleccionada y el modo de uso de la resina epóxica. Se informa sobre la elaboración de los moldes respectivos y los parámetros empleados para realizar los ensayos de tracción necesarios. Finalmente, se presenta el desarrollo de estos ensayos y la obtención de los resultados necesarios para el análisis del material. Además, se expone el diseño propuesto para el cuadro de la bicicleta.

2.2.1. Selección de Fibra

Una vez cosechada y separada la fibra, el siguiente paso es seleccionar las fibras más resistentes, como se observa en la Figura 5, para la elaboración de las probetas. Esta selección se realiza para obtener mejores resultados en los ensayos de tracción aplicados al estudio. El proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: se corta un mechón de la fibra para facilitar su separación. Para el siguiente paso, se realiza un corte adecuado y se procede a separar fibra por fibra el mechón con el que se está trabajando. En la elección se consideran las

siguientes características: en primer lugar, se toma en cuenta el grosor y la resistencia; la fibra más resistente será utilizada para las probetas. En segundo lugar, se considera el color de las fibras, ya que un color blanco indica mejores propiedades. Finalmente, se verifica que las fibras seleccionadas sean de un solo hilo.



Figura 5. Fibra de abacá, antes de su selección de fibras.

2.2.2. Resina Epóxica Usada

Para la elaboración de las probetas de material compuesto se utilizó la resina epóxica de la marca WESCO DURA QUARZ CAST-11, que viene en una presentación de dos envases. El envase A es la resina y el envase B es el catalizador, los cuales se deben mezclar en una relación 1:1 en volumen. Las especificaciones técnicas de la matriz se muestran en la Tabla 5 y en la Figura 6 se indica la presentación de la resina [22].



Figura 6. Resina epóxica.

En la siguiente tabla se especifica todas las propiedades físicas y las características técnicas de la resina epóxica.

Tabla 5: Especificaciones de la resina-[22]

| | |
|---|-----------------------------|
| Marca | WESCO DURA QUARZ CAST-11 |
| Apariencia | Transparente |
| Relación de mezcla (% v/v) | 1:1 |
| Tiempo de trabajo de la resina (min) | 30 a 25 °C |
| Tiempo de curado (h) | 12 a 25 °C |
| Tiempo de secado (h) | 48 a 25 °C |
| Espesor máximo de aplicación (cm) | 1 – 2 cm |
| Dureza (Shore D) | 84 |
| Densidad (g/cm³) | 1.1 |
| Viscosidad de la mezcla (cp) | 2000 a 3000 a 25°C |

2.2.3. Elaboración de moldes

Para la elaboración de los dos moldes se utilizaron las medidas especificadas en la norma ASTM D3039. El primer molde cumple con las dimensiones detalladas en la Tabla 3 (longitud 250 mm – ancho 15 mm – profundidad 1 mm), mientras que el segundo molde sigue las especificaciones de la Tabla 4 (longitud 175 mm – ancho 25 mm – profundidad 2 mm), ambas referenciadas a las medidas de dicha norma. Los moldes se diseñaron en el software CAD Inventor, que proporciona un boceto en tres dimensiones, y luego se fabricaron con impresión 3D. El material utilizado para la

impresión de los moldes es PETG (tereftalato de polietileno glicolizado).

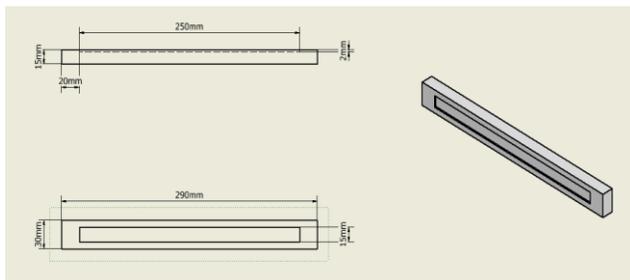


Figura 7. Molde 1.

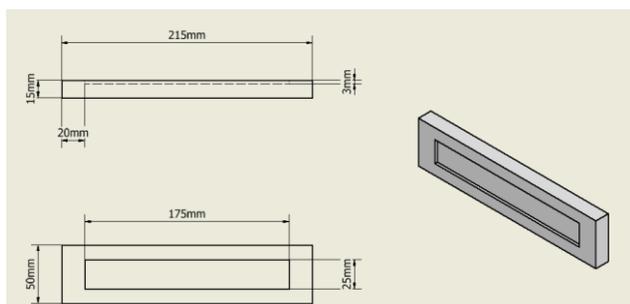


Figura 8. Molde 2.

2.2.4. *Elaboración de las probetas normalizadas*

Para la fabricación de las probetas, primero se toma la fibra seleccionada, mostrada en la Figura 9, y se corta a medida para su colocación en los moldes. En segundo lugar, se aplica una base de vaselina en el molde para facilitar el desprendimiento de la probeta al finalizar el proceso.



Figura 9. Fibra seleccionada lista para corta a medida.

A continuación, se colocó una capa de la fibra seleccionada según la orientación y proporción requeridas. Posteriormente, se aplicó una capa de

resina previamente preparada, ajustada al volumen necesario para cada probeta. Las proporciones y orientaciones específicas de cada una están detalladas en la Tabla 6.

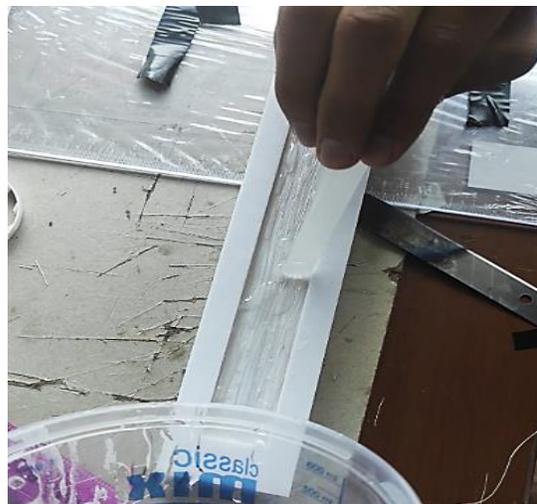


Figura 10. Ubicación respectiva de la fibra en el molde y Aplicación de la capa de resina.

Se requirió un tiempo de secado mínimo de cuatro horas antes de aplicar capas adicionales. Una vez aplicadas todas las capas propuestas, se dejó secar por un día completo. Después, se sacaron las probetas del molde y se dejaron secar un día más para garantizar resultados óptimos. Las especificaciones de cada probeta obtenida se detallan en la Tabla 6.



Figura 11. Extracción de la probeta.

Se elaboraron probetas variando la orientación de las fibras utilizando los mismos moldes. Se empleó la orientación de fibra a 90° en el molde de 90° y la orientación de fibra a 90° en el molde de 0° . Además, se fabricaron probetas con fibras entrecruzadas y tejidas como parte de un

experimento. Hubo dieciséis probetas con diferentes orientaciones y capas (fibra-resina). La variación de capas, proporciones y número de probetas fue realizado por experimentación para obtener cual era la probeta con las mejores características de tracción, aclarando que la norma ASTM D3039 no define estos parámetros como datos obligatorios en la fabricación de las probetas.

Tabla 6: Especificación de las probetas elaboradas.

| | Orientación | Número de la probeta/Número de capas | Proporción de fibra % | Número de probetas |
|---------------------|-------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Molde 1 (figura 9) | 90° | 1 (2) | 30 | 5 |
| | | 2 (2) | 35 | |
| | | 3 (2) | 40 | |
| | | 4 (2) | 50 | |
| | | 5 (2) | 60 | |
| Molde 2 (figura 10) | 90° | 1 (2) | 30 | 5 |
| | | 2 (2) | 40 | |
| | | 3 (2) | 35 | |
| | | 4 (2) | 55 | |
| | | 5 (2) | 60 | |
| Molde 2 (figura 10) | 45° cruzada | 1 (2) | 30 | 2 |
| | | 2 (2) | 35 | |
| Molde 2 (figura 10) | Tejida | 1 (1) | 20 | 4 |
| | | 2 (1) | 40 | |
| | | 3 (1) | 50 | |
| | | 4 (2) | 65 | |
| | | | Total de probetas elaboradas | 16 |

En la Tabla 6 se presentan diversas proporciones de fibra-resina aplicadas en las probetas, según su orientación. Esto se realiza con el fin de experimentar y determinar qué combinación de proporción y orientación ofrece los mejores resultados en los ensayos de tracción.

2.2.5. Ensayos de tracción

Los ensayos de tracción nos permiten obtener información sobre el comportamiento del material para conocer su resistencia y determinar sus propiedades [23]. En este proceso se utilizará una máquina universal de ensayos modelo AGS-X de la marca SHIMADZU. Este tipo de ensayo consiste en aplicar una fuerza axial en la probeta hasta su rotura. La velocidad debe ser muy baja para no distorsionar

el resultado [24]. A continuación, se explicará el proceso para realizar los respectivos ensayos:

Primero, se tomaron medidas de la geometría (largo, ancho y espesor) y el peso de cada probeta. Para el proceso se utilizaron instrumentos de medición de alta precisión. Para los datos geométricos de la probeta, se utilizó un calibrador digital con una sensibilidad de 0.02 mm y las mediciones en milímetros. Además, se usó una balanza digital para obtener el peso en gramos de cada probeta. Todos estos datos fueron necesarios por ser parámetros en la máquina de ensayo.

En cuanto a la configuración de la máquina universal de ensayo y el proceso del ensayo, se cumplió con la Norma ASTM D3039.



Figura 12. Visualización de la rotura de la probeta.

2.3. Resultados de los ensayos de tracción

Los valores mostrados en las tablas fueron proporcionados por la máquina universal de ensayos.

2.3.1. Primeros ensayos de tracción realizados en cinco probetas

Los primeros ensayos de tracción fueron realizados con dos probetas largas y tres probetas cortas con una orientación de 90°, a una velocidad de 5 mm/min.

En los ensayos de tracción realizados, se emplearon tanto muestras largas como cortas. Los datos clave observados incluyen el módulo elástico, la fuerza de rotura, la tensión de rotura, el desplazamiento en la rotura y la deformación en la rotura.

A continuación, en la tabla 7 se pueden observar los resultados de las cinco primeras probetas, donde las probetas largas se identifican como PL y las probetas cortas como PC, cada una con su respectiva numeración.

Al analizar los datos obtenidos, se observa una variabilidad en las propiedades mecánicas entre las probetas largas y cortas:

Módulo Elástico: Las probetas cortas PC1 y PC3 muestran una mayor rigidez comparada con las probetas largas, lo que es esencial para mantener la integridad bajo carga.

Deformación en la Rotura: Las probetas PL1 y PC1 destacan por su capacidad de deformación antes de la rotura, vital para absorber impactos y vibraciones, mejorando la durabilidad y resistencia a la fatiga.

Tabla 7: Resultados de tracción de las primeras cinco probetas.

| Numero de probetas | Modulo elástico [N/mm ²] | Pendiente Estándar [N/mm] | Rotura - Fuerza [N] | Rotura - Esfuerzo [N/mm ²] | Rotura - Desplazamiento [mm] | Rotura - Deformación [%] |
|--------------------|---|------------------------------|------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| PL1 | 400,002 | 92,1832 | 883,910 | 27,3962 | 4,91490 | 3,51065 |
| PL2 | 950,547 | 202,660 | 1088,21 | 36,4576 | 3,89658 | 2,78327 |
| PC1 | 1534,25 | 1643,99 | 455,281 | 6,06988 | 5,19074 | 7,41534 |
| PC2 | .- | .- | 2353,12 | 31,5476 | 3,80572 | 5,43675 |
| PC3 | 953,588 | 1191,04 | .- | .- | .- | .- |

2.3.1.1) Resultados claves

Módulo Elástico: Las probetas cortas, particularmente PC1 (1534.25 N/mm²) y PC3 (953.588 N/mm²), muestran valores superiores, indicando una mayor rigidez estructural. La muestra PL2 (950.547 N/mm²) entre las largas también tiene un módulo elástico considerablemente alto.

Fuerza y esfuerzo de Rotura: La probeta PC2 muestra la mayor fuerza de rotura (2353.12 N) y tensión de rotura (31.5476 N/mm²). Entre las largas, PL2 tiene los valores más altos en fuerza (1088.21 N) y esfuerzo de rotura (36.4576 N/mm²).

Desplazamiento y Deformación en la Rotura: Las probetas PL1 y PC1 experimentan mayores desplazamientos en la rotura (4.91490 mm y 5.19074 mm, respectivamente) y deformaciones (3.51065 % y 7.41534 %), lo cual sugiere una mayor capacidad de deformación antes de la rotura, crucial para la absorción de impactos.

2.3.1.2) Análisis de los primeros ensayos de tracción

Conclusión General: Basado en las propiedades mecánicas evaluadas, la probeta PC1 emerge como la mejor opción para su uso. Su combinación de alto módulo elástico, significativo desplazamiento de rotura y resistencia a la fuerza máxima la posicionan como la elección propuesta para asegurar un material robusto, resistente y capaz de soportar diferentes exigencias de tracción.

2.3.2. Segundos ensayos de tracción realizados en cinco probetas

Los segundos ensayos de tracción fueron realizados con tres probetas largas y dos probetas cortas con una orientación de 90°, a una velocidad de 5 mm/min.

En los ensayos de tracción realizados, se emplearon tanto muestras largas como cortas. Los datos clave observados incluyen el módulo elástico, la fuerza de rotura, la tensión de rotura, el desplazamiento en la rotura y la deformación en la rotura.

A continuación, en la tabla 8 se pueden observar los resultados de las cinco segundas probetas, donde las probetas largas se identifican como PL y las probetas cortas como PC, cada una con su respectiva numeración.

Desplazamiento y Deformación de Rotura: La probeta PL5 destaca por su mayor capacidad de deformación antes de la rotura, lo cual es crucial para la absorción de impactos y vibraciones. Entre las probetas cortas, PC5 presenta una deformación y desplazamiento de rotura superiores, lo que sugiere

Tabla 8: Resultados de tracción de las segundas cinco probetas.

| Numero de probetas | Modulo elástico [N/mm ²] | Pendiente Estándar [N/mm] | Rotura - Fuerza [N] | Rotura - Esfuerzo [N/mm ²] | Rotura - Desplazamiento [mm] | Rotura - Deformación [%] |
|--------------------|---|------------------------------|------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| PL3 | 313,700 | 744,772 | 1708,90 | 47,5897 | 4,84243 | 32,0161 |
| PL4 | 338,460 | 991,966 | 1718,77 | 44,7268 | 4,13491 | 28,6748 |
| PL5 | -.- | -.- | 2131,48 | 69,6415 | 5,07243 | 33,4704 |
| PC4 | 436,079 | 464,672 | 3836,01 | 42,8670 | 4,24740 | 5,05763 |
| PC5 | 2639,04 | 2636,02 | 3795,99 | 45,2528 | 4,42993 | 5,27498 |

2.3.2.1) Resultados claves

Fuerza de Rotura y Esfuerzo de Rotura: La probeta PL5 muestra valores significativamente mayores en fuerza (2131.48 N) y esfuerzo de rotura (69.6415 N/mm²) en comparación con PL4 y PL3. La probeta PC5 también muestra valores superiores en esfuerzo de rotura (69.6415 N/mm²).

Desplazamiento y Deformación de Rotura: La probeta PL5 presenta un desplazamiento de rotura (5.07243 mm) y una deformación de rotura (33.4704 %) superiores. La probeta PC5 exhibe un desplazamiento de rotura (4.42993 mm) y deformación de rotura (5.27498 %) superiores en comparación con PC4.

Módulo Elástico: La probeta PC5 muestra un módulo elástico más alto (2639.04 N/mm²), indicando mayor rigidez y resistencia a la deformación en comparación con PC4 (436.079 N/mm²).

2.3.2.2) Análisis de los segundos ensayos de tracción

Al analizar los datos obtenidos, se observa una variabilidad en las propiedades mecánicas entre las probetas largas y cortas:

Fuerza y Esfuerzo de Rotura: Las probetas largas PL5 y cortas PC5 muestran valores superiores, indicando una mayor resistencia a la tracción.

una mejor capacidad de absorción de energía.

Módulo Elástico: La probeta PC5 sobresale con un módulo elástico significativamente alto, lo que indica una mayor rigidez estructural.

Conclusión General: Basado en las propiedades mecánicas evaluadas, la probeta PC5 emerge como la mejor opción para su uso en aplicaciones que requieren alta resistencia a la tracción y capacidad de absorción de energía. Su combinación de alto módulo elástico, significativo desplazamiento de rotura y resistencia a la fuerza máxima la posicionan como la elección propuesta para asegurar un material robusto, resistente y capaz de soportar diferentes exigencias de tracción.

2.3.3. Últimos seis ensayos de tracción

Los últimos seis ensayos de tracción se realizaron con cuatro probetas tejidas y dos probetas entrecruzadas en 45° a una velocidad de 5 mm/min.

En los ensayos de tracción realizados, se emplearon tanto muestras tejidas como entrecruzadas. Los datos clave observados incluyen el módulo elástico, la fuerza de rotura, la tensión de rotura, el desplazamiento en la rotura y la deformación en la rotura.

En la tabla 9 se observan los resultados de las últimas seis probetas, donde las probetas tejidas se

Tabla 9: Resultados de tracción de los últimos seis ensayos.

| Numero de probetas | Modulo elástico [N/mm ²] | Pendiente Estándar [N/mm] | Rotura - Fuerza [N] | Rotura - Esfuerzo [N/mm ²] | Rotura - Desplazamiento [mm] | Rotura - Deformación [%] |
|--------------------|---|------------------------------|------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| PT2 | 351,197 | 465,753 | .- | .- | .- | .- |
| PT1 | 193,315 | 231,102 | .- | .- | .- | .- |
| PT3 | 585,811 | 839,498 | 168,835 | 1,68508 | 10,0174 | 14,3106 |
| PT4 | 86,0727 | 128,392 | .- | .- | .- | .- |
| PE1 | 416,080 | 480,172 | .- | .- | .- | .- |
| PE2 | 297,025 | 325,709 | .- | .- | .- | .- |

identifican como PT y las entrecruzadas como PE, cada una con su respectiva numeración.

2.3.3.1) Resultados claves

Módulo Elástico: PT3 muestra un módulo elástico más alto (585.811 N/mm²), indicando mayor rigidez y resistencia a la deformación en comparación con PE1 (416.080 N/mm²).

Desplazamiento de Rotura: PT3 exhibe un desplazamiento de rotura (10.0174 mm) superior, sugiriendo mayor capacidad de deformación antes de la rotura, crucial para absorber impactos y vibraciones.

Resistencia a la Tracción: PT3 también muestra valores superiores en esfuerzo de rotura (1.68508 N/mm²) y capacidad de deformación antes de la rotura en comparación con PE1.

2.3.3.2) Análisis de los segundos ensayos de tracción

Al analizar los datos obtenidos, se observa una variabilidad en las propiedades mecánicas entre las probetas tejidas y entrecruzadas:

Módulo Elástico: PT3 muestra una rigidez superior con el mayor módulo elástico entre las probetas, lo que indica una mayor resistencia a la deformación.

Deformación de Rotura: PT3 destaca por su mayor capacidad de deformación antes de la rotura, esencial para la absorción de impactos y vibraciones.

Resistencia a la Tracción: PT3 demuestra una resistencia a la tracción significativamente

mayor, lo que la posiciona como la mejor opción en términos de resistencia y capacidad de absorción de energía.

Conclusión General: Basado en las propiedades mecánicas evaluadas, la probeta PT3 emerge como la mejor opción para su uso en aplicaciones que requieren alta resistencia a la tracción y capacidad de absorción de energía. Su combinación de alto módulo elástico, significativo desplazamiento de rotura y resistencia a la fuerza máxima la posicionan como la elección propuesta para asegurar un material robusto, resistente y capaz de soportar diferentes exigencias de tracción.

3. Resultados y Discusión

En el siguiente apartado se analiza los resultados obtenidos en base a los ensayos realizados, seleccionamos la probeta con valores acordes a la propuesta de estudio, los datos obtenidos se introducirán en el software ANSYS para obtener los datos de la simulación.

3.1. Análisis de los datos combinados

Módulo Elástico:

PC5 muestra el mayor módulo elástico (2639.04 N/mm²), indicando una rigidez buena y una alta resistencia a la deformación.

PC1 también presenta un módulo elástico elevado (1534.25 N/mm²), lo que sugiere una estructura bastante rígida.

PT3 tiene un módulo elástico menor (585.811 N/mm²), sigue siendo el mejor modulo en comparación a las otras probetas.

Fuerza y Esfuerzo de Rotura:

PC5 destaca con la mayor fuerza de rotura (3795.99 N) y el esfuerzo de rotura más alto (45.2528 N/mm²), demostrando una resistencia superior a las cargas aplicadas.

PC1 tiene una fuerza de rotura moderada (455.281 N) con un esfuerzo de rotura menor (6.06988 N/mm²).

PT3 muestra una fuerza de rotura baja (168.835 N) con un esfuerzo de rotura muy baja (1.68508 N/mm²) en comparación con PC5, pero su capacidad de deformación le otorga una ventaja en ciertas aplicaciones.

Desplazamiento y Deformación de Rotura:

PT3 exhibe un desplazamiento en la rotura significativamente alto (10.0174 mm) y la mayor deformación en la rotura (14.3106 %), lo que sugiere una alta capacidad de absorción de impactos.

PC1 y PC5 tienen desplazamientos de rotura y deformaciones en la rotura más controladas, lo cual puede ser favorable en aplicaciones que requieren mayor rigidez y menor deformación bajo carga.

Conclusión General

Probeta PC5: Es la mejor opción en cuanto a los ensayos experimentales de tracción realizados con esta y las demás probetas, en aplicaciones que requieren rigidez y resistencia a la tracción debido a su módulo elástico elevado, fuerza de rotura y esfuerzo de rotura superiores.

Probeta PT3: Aunque presenta una resistencia a la tracción menor en comparación con PC5, su alta capacidad de deformación y desplazamiento en la rotura la hacen ideal para aplicaciones donde la

absorción de impactos y la flexibilidad son cruciales.

Probeta PC1: Combina un buen equilibrio entre rigidez, resistencia a la tracción y capacidad de deformación, lo que la hace adecuada para una variedad de aplicaciones mecánicas.

2.3.4. Aplicación específica para un cuadro de bicicleta

La probeta más adecuada para la aplicación en un cuadro de bicicleta es la PC5.

Justificación:

Alta Rigidez y Resistencia: El módulo elástico elevado y la alta fuerza de rotura de PC5 aseguran que el cuadro de la bicicleta mantenga su forma y soporte grandes cargas sin deformarse.

Resistencia a la Tracción: El alto esfuerzo de rotura significa que PC5 puede soportar tensiones elevadas sin fallar, crucial para la seguridad y durabilidad del cuadro.

Desplazamiento Controlado: El desplazamiento en la rotura relativamente bajo indica que PC5 tiene una deformación controlada, importante para mantener la estabilidad y el manejo de la bicicleta.

Resumen:

PC5 es la elección más adecuada en comparación con el resto de las probetas para el cuadro de una bicicleta debido a sus propiedades de rigidez y resistencia a la tracción, asegurando un rendimiento óptimo y durabilidad en condiciones de uso intensivo.

2.4. Simulación en el software ANSYS

Previo al análisis en el software de simulación ANSYS, se planteó el siguiente sistema de ecuaciones para determinar las fuerzas de los componentes que forman el cuadro de bicicleta indicado en la figura 16.

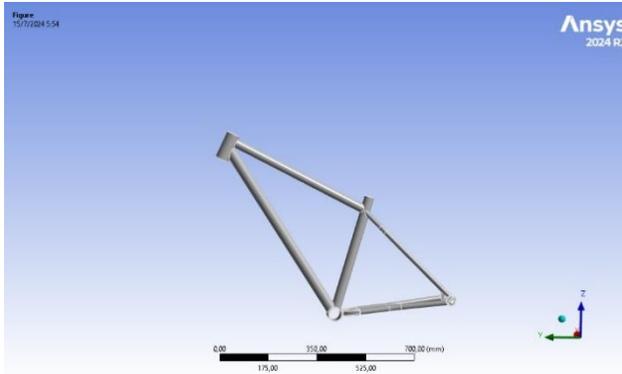


Figura 13: Cuadro de bicicleta utilizado para la simulación

Aplicando una fuerza de 25kg.
Pasamos de kg a N:

$$25kg * 9.81m/s^2$$

$$245,25 N$$

Aplicando método de nodos en el punto A, sumatoria de fuerzas en X y Y, tenemos los resultados de las siguientes incógnitas.

$$F_{AD} = 225,48N$$

$$F_{AC} = 147,24N$$

Aplicando método de nodos en el punto B, sumatoria de fuerzas en X y Y, tenemos los resultados de las siguientes incógnitas.

$$F_{BC} = 240,74 N$$

$$F_{BD} = 115,57N$$

Partimos desde el punto A donde se aplica la carga (W), para luego encontrar Fuerza AC, AD, BD y CD. Obteniendo el siguiente sistema de ecuaciones.

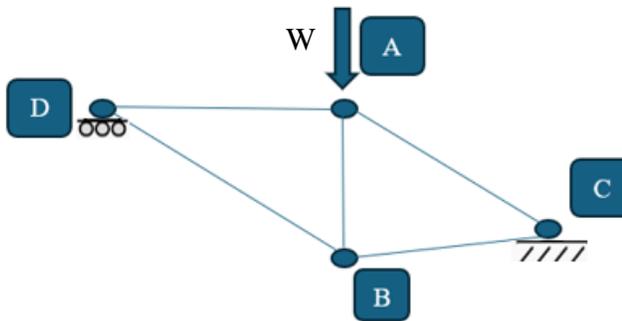


Figura 14: Diagrama de la estructura de la bicicleta

Punto A:

$$\sum y = 0$$

$$F_{AD} - W(\text{sen}(\alpha)) = 0$$

$$\sum x = 0$$

$$F_{AC} - F_{AD}(\text{cos}(\alpha)) = 0$$

Punto B:

$$\sum y = 0$$

$$F_{BC} - W(\text{sen}(\alpha)) = 0$$

$$\sum x = 0$$

$$F_{BD} - F_{BC}(\text{cos}(\alpha)) = 0$$

Al revisar los resultados obtenidos por la maquina universal de ensayos, se verifica que la probeta PC5 es la mejor opción, procedemos a realizar la simulación en el software ANSYS para analizar la deformación que obtendrá el cuadro de bicicleta con el material propuesto.

Para la simulación se toma en cuenta el material al ser de tipo isotrópico se aplicarán cargas axiales, también consideramos el módulo de Young con un valor de 14,53 pascales valor que será ingresado en los datos para simulación, este valor se obtiene previo a un cálculo realizado con los datos que nos otorga la maquina universal de ensayos.

En la figura 14 se observa el cuadro de bicicleta. En el siguiente paso aplica una fuerza de 25kg el valor en Newton es de 245,45 N.



Figura 15: Con una calidad del mallado de 0,98. Se aplica la fuerza de 245,25N y una fuerza en el parante AD simulando la carga que soporta el cuadro

Como último paso procedemos a visualizar la deformación que presenta el cuadro de bicicleta, observando la siguiente figura se puede visualizar una deformación de 2,97mm.

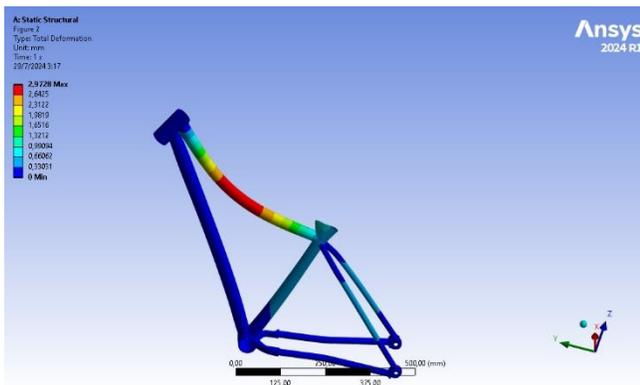


Figura 16: Deformación del cuadro aplicando la fuerza de 25kg

4. Conclusiones

La revisión de fuentes bibliográficas confirmó que los materiales compuestos con fibras orgánicas, como la fibra de abacá, presentan propiedades mecánicas y características únicas que los hacen adecuados para aplicaciones estructurales. Se identificaron ventajas significativas en términos de sostenibilidad y eficiencia de recursos al utilizar fibras orgánicas en la fabricación de materiales compuestos.

Las pruebas realizadas al material compuesto de fibra de abacá-poliéster demostraron que este

material posee una alta resistencia a la tracción, buena flexibilidad y durabilidad.

Siguiendo la proporción de matriz y refuerzo según la normativa, después de evaluar los ensayos realizados, se obtuvieron los datos de la probeta PC5 (módulo elástico 2639.04 N/mm², fuerza de rotura de 3795,99 N, desplazamiento de rotura de 4,42mm y deformación en la rotura de 5,27%) los cuales presentaron las mejores características de tracción en comparación con el resto de las probetas. Basándonos en estos resultados, se integró los datos de la probeta PC5 en ANSYS para hacer un análisis de elementos finitos en el cuadro de bicicleta, el mismo que nos brindó como resultado una deformación de 2,97mm, esta cifra es importante porque indica cuánto se deforma la probeta bajo las condiciones evaluadas, lo cual es crucial para comprender cómo responden a las cargas aplicadas y para validar la resistencia y durabilidad del material evaluado. Este resultado demuestra que el material soporta una carga de 245,25N(25kg). La caracterización y análisis de nuestro estudio permite implementar el material compuesto a cuadros de bicicleta para niños o niñas de hasta 8 años de edad.

Referencias

- [1] M. Muñoz *et al.*, “Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible del Ecuador 2023 - 2030,” 2023. Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/10/Política-Nacional-de-Movilidad-Urbana-Sostenible-del-Ecuador-2023.pdf>
- [2] S. Eastman, A. José, A. S. Eastman, and R. Kavilando, “El uso de la bicicleta como promotor de la movilidad sostenible: acciones y efectos en la movilidad cotidiana, el mejoramiento de la calidad del aire y el transporte público de las ciudades[i],” *Periodicidad: Semestral*, vol. 12, no. 1, p. 2020, 2020, [Online]. Available:

- <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/377/3771835007/3771835007.pdf>
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo, R. A. Rios, and A. Taddia, “Ciclo inclusión en América Latina y el Caribe. Guía para impulsar el uso de la bicicleta.” Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Ciclo-inclusi%C3%B3n-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-Gu%C3%ADa-para-impulsar-el-uso-de-la-bicicleta.pdf>
- [4] J. R. Guaypatin Pico, “Impacto del Uso de la Bicicleta en la Reducción de Gases de Efecto Invernadero Emitidos en la Parroquia La Matriz de Ambato,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2022. Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35447/1/Guaypatin%20Jefferson.pdf>
- [5] T. K. Mulenga, A. U. Ude, and C. Vivekanandhan, “Techniques for modelling and optimizing the mechanical properties of natural fiber composites: A review,” Jan. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/fib9010006.
- [6] E. A. Llanes Cedeño, D. Peralta Zurita, M. Pucha Tambo, and J. C. Rocha Hoyos, “Mechanical Flexural Characterization of Composite Materials with Photopolymer Matrix Reinforced with Abaca and Cabuya Fibers Using 3D Printing,” *Ingenius*, vol. 2019, no. 22, pp. 100–112, Jul. 2019, doi: 10.17163/ings.n22.2019.10.
- [7] D. Araya-Gutiérrez, G. G. Monge, K. Jiménez-Quesada, D. Arias-Aguilar, and R. Q. Cordero, “Abaca: a general review on its characteristics, productivity, and market in the world,” Jan. 01, 2023, *Universidad Nacional de Colombia*. doi: 10.15446/rfnam.v76n1.101710.
- [8] J. Solbes Francisco, “Solbes - Diseño de un cuadro de bicicleta y análisis mediante elementos finitos,” 2021, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/173304/Solbes%20-%20Diseno%20de%20un%20cuadro%20de%20bicicleta%20y%20análisis%20mediante%20elementos%20finitos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] P. Luna and J. M. Lizarazo-Marriaga, “NATURAL FIBERS AS REINFORCEMENT IN POLYMER MATRIX COMPOSITE MATERIALS,” *Momento*, vol. 2022, no. 65, pp. 65–79, 2022, doi: 10.15446/mo.n65.103151.
- [10] J. I. Cifuentes, “Mejora en las Propiedades Mecánicas de Alabes de Aerogeneradores con Resina Epóxica y Nanocelulosa,” *researchgate*, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.14486.37445.
- [11] Ing. José Luis Dávila *et al.*, *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*. 2011.
- [12] W. Callister, *Materials Science and Engineering An Introduction*, vol. 7. 2007. Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: <https://catatanabimanyu.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/09/callister-7th-edition.pdf>
- [13] A. Lizana Zora, O. H. Contreras Canto, L. Perez Naupay, C. A. Villanueva y Chang, J. L. Vela Rojas, and J. Chaupis Ortiz, “Uso de la bicicleta como propuesta para mejorar los hábitos de vida saludable,” *Investigación Valdizana*, vol. 13, no. 2, pp. 85–94, Apr. 2019, doi: 10.33554/riv.13.2.234.
- [14] D. Sánchez Pérez, “Aplicación de materiales tecnológicos al diseño de un cuadro de bicicleta,” 2015. Accessed: Jul. 14, 2024. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/211096905.pdf>
- [15] D. Cazar Baquero and S. Morán, “Abacá: esclavitud moderna en los campos de Ecuador.”

- [16] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación de la Agricultura, “Fibras del Futuro-Abacá.” Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- [17] Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit, “Produciendo fibra sostenible desde el sureste asiático hasta centroamérica iniciativa de abacá sostenible,” 2020. Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.bpmesoamerica.org/wp-content/uploads/2020/01/Glatfelter.pdf>
- [18] G. Guijarro, S. López, E. Abarca, J. Caicedo, and E. Castillo, “Energy Absorption of an Abaca-Polyester Composite Material in Simulated Impact Tests,” *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, Aug. 2022, doi: 10.18502/epoch.v2i4.11726.
- [19] A. R. BRAVO LOPEZ and Y. X. ABRAHAM TOUMA, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA DE ABACÁ Y SU APLICACIÓN EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ,” GUAYAQUIL, 2022. Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23837/1/UPS-GT004088.pdf>
- [20] ASTM INTERNATIONAL, “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.” Accessed: Apr. 28, 2024. [Online].
- [21] J. A. ESDRAS DAVID, “Análisis y evaluación de propiedades térmicas y mecánicas de materiales resínicos del tipo Epoxi/Amina,” 2012.
- [22] E. J. LOOR SOLÓRZANO, “Síntesis y caracterización de las propiedades mecánicas de un material compuesto tipo laminado con refuerzo de fibra de vidrio en matriz de resina epóxica para cajas de impacto de automóviles,” 2023.
- [23] C. Secaira, J. Alexandra, I. Thirumuruganandham, and S. Prakash, “ANÁLISIS DEL PROCESO DE ACREDITACIÓN BAJO LA NORMA NTE INEN ISO/IEC 17025-2018 PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN DE PERFILES, BARRAS, VARILLAS Y TUBOS EXTRUIDOS DE ALUMINIO EN EL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO.,” 2022.
- [24] T. Arteaga Velez Jostin Wladimir, T. Toala Angueta Brandon Iván, I. Cristhian José Ortiz Caaspa, and S. Domingo-Ecuador, “Determinación de la resistencia mecánica del PLA en impresiones 3D mediante ensayos de tracción,” 2024.