



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Marítima

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE: INGENIERO MARÍTIMO**

**“USO DE LAS FIBRAS DE PLÁTANO Y PAJA TOQUILLA CON FIBRA SINTÉTICA
PARA APLICACIONES MARÍTIMAS”**

Autor:


Demera Rizo Kerlin Mariu

Tutor:

Ing. Francisco Javier Paredes Mera

Manta – Ecuador

2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Demera Rizo Kerlin Mariu, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es “USO DE LAS FIBRAS DE PLÁTANO Y PAJA TOQUILLA CON FIBRA SINTÉTICA PARA APLICACIONES MARÍTIMAS”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente. Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, Manta 02 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Francisco Javier Paredes Mera

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Yo, DEMERA RIZO KERLIN MARIU, con cedula de identidad; 1351534183, egresado de la UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ, de la carrera de Ingeniería Marítima, expongo que cada uno de los contenidos, referencias bibliográficas, recopilación de los datos obtenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones de esta investigación con el nombre de **“USO DE LAS FIBRAS DE PLATANO Y PAJA TOQUILLA CON FIBRA SINTETICA PARA APLICACIONES MARITIMAS”**, periodo académico 2025(1)-2025(2), son de mi total autoría.

Manta, 02 de febrero de 2026.



Demera Rizo Kerlin Mariu



Ing. Francisco Javier Paredes Mero

Docente Tutor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, fortaleza, sabiduría y por guiar cada uno de mis pasos a lo largo de este camino académico. A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio, quienes han sido mi pilar fundamental y ejemplo de perseverancia, motivándome siempre a no rendirme ante las dificultades. A mi hija Abby Demera Rizo, quien es mi mayor inspiración y razón para seguir adelante, por darme la fuerza necesaria para superarme cada día y luchar por un mejor futuro. Y a mí misma, por el esfuerzo constante, la disciplina, la responsabilidad y la determinación demostradas para culminar esta etapa tan importante de mi vida académica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios, por iluminar mi camino, darme la fortaleza necesaria y permitirme alcanzar este logro académico.

Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres, Sr. Alfredo Demera y Sra. Eneyda Rizo, así como a mis hermanos, por el constante apoyo moral, emocional y motivacional brindado a lo largo de este proceso, el cual ha sido clave en mi crecimiento personal y desarrollo profesional.

Expreso un especial agradecimiento a mi tutor, Ing. Francisco Paredes, por su orientación, paciencia, acompañamiento académico y valiosos aportes, los cuales fueron esenciales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

De igual forma, expreso mi agradecimiento a la Sra. María Rodríguez y a su familia por el cuidado y apoyo brindado a mi hija durante el tiempo en que asistía a clases; así como a mis compañeros, por su colaboración, apoyo mutuo, intercambio de conocimientos y motivación constante a lo largo de esta etapa académica.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de este trabajo de titulación.

SÍNTESIS

El presente proyecto de titulación tiene como objeto de estudio el análisis de las propiedades físico-mecánicas de un material compuesto híbrido elaborado con fibras naturales de plátano y paja toquilla combinadas con fibra sintética, con el propósito de evaluar su posible aplicación en entornos marítimos, por ello la investigación se desarrolla en respuesta a la necesidad de explorar alternativas más sostenibles a los materiales sintéticos convencionales, aprovechando recursos naturales disponibles en Ecuador.

Por otra parte, el estudio se orienta a identificar las principales propiedades mecánicas de las fibras naturales y sintéticas utilizadas, así como a elaborar probetas mediante un proceso de polimerización inducida, con el fin de caracterizar su comportamiento mecánico. Para ello, se fabricaron materiales compuestos con diferentes proporciones de fibras naturales y fibra de vidrio, los cuales fueron sometidos a ensayos de tracción conforme a la norma ASTM D3039, garantizando la fiabilidad de los resultados obtenidos.

En cuanto a los resultados evidencian que el tipo y la proporción de fibras influyen de manera significativa en la resistencia a la tracción del material compuesto. En particular, las configuraciones híbridas con mayor contenido de fibra sintética presentaron un mejor desempeño mecánico, mientras que la incorporación de fibras naturales permitió reducir el uso de materiales sintéticos sin perder completamente la capacidad resistente del compuesto. En este sentido, el estudio demuestra que los materiales híbridos analizados constituyen una alternativa viable para aplicaciones marítimas no estructurales, aportando criterios técnicos para el desarrollo de materiales más sostenibles.

Palabras claves: Sostenibilidad, aplicaciones marítimas, materiales compuestos

ABSTRACT

This thesis project focuses on analyzing the physical and mechanical properties of a hybrid composite material made from natural banana and toquilla straw fibers combined with synthetic fiber, with the aim of evaluating its potential application in marine environments. Therefore, the research is being conducted in response to the need to explore more sustainable alternatives to conventional synthetic materials, taking advantage of natural resources available in Ecuador.

Furthermore, the study aims to identify the main physical and mechanical properties of the natural and synthetic fibers used, as well as to prepare test specimens through an induced polymerization process, in order to characterize their mechanical behavior. To this end, composite materials were manufactured with different proportions of natural fibers and fiberglass, which were subjected to tensile tests according to ASTM D3039, ensuring the reliability of the results obtained.

The results demonstrate that the type and proportion of fibers significantly influence the tensile strength of the composite material. In particular, hybrid configurations with a higher synthetic fiber content exhibited better mechanical performance, while the incorporation of natural fibers allowed for a reduction in the use of synthetic materials without completely compromising the composite's strength. In this sense, the study demonstrates that the hybrid materials analyzed constitute a viable alternative for non-structural marine applications, providing technical criteria for the development of more sustainable materials.

Keywords: Sustainability, marine applications, composite materials

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I ESTADO DEL ARTE	14
Planteamiento del problema	17
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Justificación	19
Marco teórico	20
Fibras	22
Fibras naturales	23
Fibras químicas o sintéticas	23
Fibras de vidrio	23
Historia de la planta del plátano	23
Historia de la planta de paja toquilla	25
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	26
Materiales	26
Fibras naturales	26
Métodos	26
Preparación de las fibras naturales	27
Extracción del pseudotallo	27
Desfibrado mecánico	27

	IX
Secado	28
Proceso de extracción de la paja toquilla	28
Selección de la materia prima vegetal	28
Cocción y secado	29
Clasificación	29
Elaboración de probeta	29
Diseños y normas aplicadas	30
Requisitos de geometría de la muestra de tracción	31
Probetas y dimensiones de conformidad con ASTM D3039	31
Materiales y equipos utilizados	32
Materiales	32
Resina poliéster	32
Fibra de plátano	34
Fibra de paja toquilla	34
Plano del molde para elaboración de probetas	37
Máquina de ensayo universal	38
Procedimiento de las etapas de elaboración de probetas	38
Ensayo de tracción	42
Metodología	43
Parámetros y Resultados Fibra de paja toquilla	4
Resultados obtenidos	48

	X
Resistencia Máxima a Tracción	50
Máximo Desplazamiento	50
Deformación Máxima	50
CAPÍTULO III COMPARACION CON FIBRAS SINTÉTICAS Y FIBRAS NATURALES	
	51
Propiedades mecánicas	51
Resistencia a Tracción	52
Deformación máxima	54
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Morfología del tallo de plátano

Figura 2 Tallo del plátano

Figura 3 Paja toquilla

Figura 4 Tipos de probeta / laminado

Figura 5 Resina

Figura 6 Fibra de plátano

Figura 7 Fibra de paja toquilla

Figura 8 Fibra de vidrio

Figura 9 Máquina de ensayo universal

Figura 10 Probeta híbrida 50% vidrio y 50% paja toquilla

Figura 11 Probeta híbrida 40% vidrio y 60% paja toquilla

Figura 12 Probeta híbrida 60% vidrio y 40% paja toquilla

Figura 13 Probeta híbrida 60% vidrio y 40% fibra de plátano

Figura 14 Probeta híbrida 40% vidrio y 60% fibra de plátano

Figura 15 Probeta híbrida 50% vidrio y 50% fibra de plátano

Figura 16 Gráficos de Tensión – Deformación paja toquilla 1

Figura 17 Gráficos de Tensión – Deformación paja toquilla 2

Figura 18 Gráficos de Tensión – Deformación plátano 1

Figura 19 Gráficos de Tensión – Deformación plátano 2

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Procedimiento de etapas de elaboración de probetas

Tabla 2 Parámetros de fibra de la paja toquilla

Tabla 3 Resultados obtenidos de las fibras híbridas de paja toquilla

Tabla 4 Parámetros de la fibra híbrida de plátano

Tabla 5 Resultados obtenidos de la fibra híbrida plátano

Tabla 6 Resultados obtenidos de la fibra híbrida plátano

Tabla 7 Resultados obtenidos de la fibra híbrida paja toquilla

Tabla 8 Comparación de los materiales compuestos

Tabla 9 Tracción de diferentes fibras

Tabla 10 Deformación máxima de diferentes fibras

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la necesidad de reducir el impacto ambiental asociado al uso de materiales sintéticos ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles en distintos sectores industriales. En este contexto, las fibras naturales han despertado un creciente interés debido a su carácter renovable, bajo costo, disponibilidad local y menor huella ambiental, posicionándose como una opción viable para el desarrollo de nuevos materiales compuestos.

El sector marítimo, sin embargo, presenta condiciones particularmente exigentes para los materiales empleados, debido a la constante exposición a la humedad, la salinidad, la radiación solar y los procesos de degradación acelerada. Tradicionalmente, estas demandas han sido cubiertas mediante el uso de fibras sintéticas, como la fibra de vidrio, ampliamente utilizada por su resistencia mecánica y durabilidad. No obstante, su producción y disposición final generan impactos ambientales significativos, lo que motiva la exploración de soluciones que permitan reducir su uso sin comprometer el desempeño técnico.

Ante esta situación, la combinación de fibras naturales con fibras sintéticas surge como una alternativa que busca equilibrar sostenibilidad y resistencia mecánica. En particular, las fibras de plátano (*Musa paradisiaca*) y la paja toquilla (*Carludovica palmata*), abundantes en el Ecuador y tradicionalmente subutilizadas en aplicaciones técnicas, representan un recurso con potencial para ser incorporado en materiales compuestos de uso ingenieril. Su integración con fibras sintéticas dentro de una matriz polimérica permite mejorar sus propiedades mecánicas y ampliar su campo de aplicación, incluso en entornos exigentes como el marítimo.

A pesar de los avances en el estudio de materiales compuestos reforzados con fibras naturales, existe una limitada cantidad de investigaciones enfocadas en el análisis del comportamiento mecánico de materiales híbridos elaborados específicamente con fibras de plátano y paja toquilla, especialmente en el contexto nacional. Esta carencia de información dificulta la evaluación de su viabilidad para aplicaciones marítimas y limita el aprovechamiento técnico de estos recursos locales.

En este marco, la presente investigación tiene como objetivo analizar las propiedades mecánicas de un material compuesto elaborado con fibras de plátano, paja toquilla y fibra sintética, orientado a su posible aplicación en entornos marítimos. El estudio se desarrolla mediante la elaboración de probetas y la realización de ensayos de tracción conforme a la norma ASTM D3039, con el fin de caracterizar su comportamiento mecánico y comparar el desempeño de distintas combinaciones de fibras.

La investigación emplea un enfoque experimental, basado en la preparación de fibras naturales, la fabricación de materiales compuestos híbridos y la evaluación de sus propiedades mecánicas mediante ensayos normalizados. De esta manera, se busca aportar información técnica relevante que contribuya al desarrollo de materiales más sostenibles y al aprovechamiento de recursos naturales locales en el ámbito de la ingeniería marítima.

El trabajo se estructura en tres capítulos. El Capítulo I presenta el estado del arte y los fundamentos teóricos que sustentan la investigación. El Capítulo II describe los materiales, métodos y procedimientos experimentales utilizados para la elaboración y ensayo de las probetas. Finalmente, el Capítulo III expone la propuesta derivada del análisis de los resultados, junto con las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO I ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, el aprovechamiento de fibras naturales ha cobrado relevancia como alternativa sostenible frente a los materiales convencionales. Las fibras de plátano y la paja toquilla, ampliamente disponibles en zonas tropicales, poseen propiedades mecánicas y de resistencia que permiten su uso en aplicaciones industriales no tradicionales. Diversos estudios han demostrado que su combinación con fibras sintéticas puede mejorar su durabilidad, especialmente en ambientes exigentes como los marítimos, donde la salinidad, humedad y exposición constante al sol deterioran los materiales rápidamente.

A lo largo de la historia, las fibras naturales han tenido un papel relevante, por lo que su estudio y aplicación han despertado el interés de numerosos investigadores. Esto se debe a su aporte al cuidado del medio ambiente, ya que permiten aprovechar materiales que en muchos casos son desechados o no reciben un uso adecuado (Borja & Remache, 2021).

El sector marítimo enfrenta el reto de utilizar materiales más sostenibles sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad. Integrar fibras naturales con polímeros sintéticos como el poliéster o la resina epóxica permite desarrollar materiales compuestos más resistentes, ligeros y menos contaminantes. Esta investigación se enmarca en esta línea, buscando validar la viabilidad del uso combinado de fibras vegetales y sintéticas en estructuras expuestas al medio marino.

Según Balbuena et al. (2025), en las últimas décadas, la industria ha volcado su atención al uso de fibras naturales como estrategia para reducir el consumo de materiales que afectan negativamente al ambiente. Las fibras naturales se caracterizan por su alta disponibilidad, bajo costo y buenas propiedades mecánicas, lo cual las convierte en una alternativa viable a las fibras sintéticas en distintos sectores industriales.

Además, desde el punto de vista estructural, las fibras naturales están constituidas

principalmente por celulosa (60-80 %), hemicelulosa, lignina (5-20 %), pectinas y ceras, cuya proporción varía según el tipo de planta y las condiciones de extracción. Estos componentes no solo determinan su resistencia, flexibilidad y durabilidad, sino que también influyen en su comportamiento frente a la humedad, la temperatura y otros factores ambientales, siendo especialmente relevantes para aplicaciones marítimas.

Por otro lado, Crupi et al. (2023) afirma que el uso extensivo de polímeros y fibras sintéticas ha generado impactos ambientales significativos, tanto en la fase de producción como en su gestión al final de la vida útil. Frente a este escenario, los green composites o compuestos verdes surgen como una alternativa sostenible que busca reemplazar materiales tradicionales por componentes renovables y biodegradables. Además, los compuestos verdes se definen como materiales formados por fibras naturales (como las de plátano o paja toquilla) y matrices poliméricas de origen biológico o parcialmente sintéticas. Estos materiales poseen un bajo impacto ambiental y tienen potencial para sustituir a los polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP), especialmente en aplicaciones de pequeña escala, como embarcaciones artesanales (Crupi et al., 2023, pp. 4–5).

En particular, la combinación de fibras naturales con matrices bio-basadas como el ácido poliláctico (PLA) ha mostrado un buen desempeño en condiciones marinas. Un ejemplo exitoso es el trimarán “Gwalaz”, fabricado con fibras de lino reforzadas con PLA, el cual mantuvo su integridad estructural tras ensayos prolongados en agua salada. Este tipo de aplicaciones evidencian el potencial de los compuestos verdes para ser incorporados en la construcción naval, siempre que se cumplan los estándares de certificación exigidos por las sociedades de clasificación marítima (Crupi et al., 2023, pp. 15–16).

Planteamiento del problema

Los entornos marítimos representan uno de los escenarios más agresivos para los materiales utilizados en la construcción de embarcaciones, estructuras costeras y equipos expuestos al ambiente marino. Factores como la salinidad, la humedad constante, la radiación solar y los procesos de degradación biológica aceleran el deterioro de los materiales tradicionales, especialmente de aquellos que no poseen protección anticorrosiva o resistencia a la absorción de agua. Como resultado, muchas estructuras requieren mantenimiento frecuente, presentan fallas prematuras o deben fabricarse con materiales sintéticos costosos que, aunque duraderos, generan un impacto ambiental significativo.

En los últimos años, la búsqueda de alternativas más económicas, sostenibles y con buen desempeño mecánico ha impulsado el estudio de fibras naturales como el plátano y la paja toquilla. Estas fibras presentan ventajas como su bajo costo, disponibilidad local, renovabilidad y ligereza. Sin embargo, su uso directo en ambientes marinos es limitado debido a su alta absorción de humedad, deterioro biológico y pérdida de resistencia con el tiempo. Por ello, se han explorado estrategias para combinar fibras naturales con fibras sintéticas, generando materiales compuestos híbridos capaces de equilibrar resistencia, durabilidad y sostenibilidad.

A pesar de estos avances, existe poca investigación en Ecuador sobre el comportamiento de materiales compuestos elaborados específicamente con fibras de plátano y paja toquilla, a pesar de que son recursos abundantes en el país y poseen características físicas potencialmente aprovechables. La literatura disponible se concentra principalmente en fibras más conocidas internacionalmente como el sisal, el kenaf o el yute, dejando un vacío científico respecto al desempeño de materiales híbridos que utilicen recursos locales en condiciones reales o simuladas

de ambiente marino.

Esta falta de estudios dificulta conocer si la combinación de fibras naturales ecuatorianas con refuerzos sintéticos puede constituir una alternativa viable para aplicaciones marítimas, como componentes estructurales menores, paneles, accesorios o elementos expuestos a la intemperie. Tampoco se cuenta con información suficiente sobre la resistencia mecánica, la durabilidad o la estabilidad física de estos materiales cuando se someten a condiciones de salinidad, humedad y desgaste típicas del medio marino.

Ante esta realidad, surge la necesidad de analizar las propiedades mecánicas de un material compuesto elaborado con fibras de plátano, paja toquilla y fibra sintética, con el fin de determinar si su desempeño es adecuado para su posible aplicación en entornos marítimos. Este estudio permite llenar un vacío académico y aportar conocimiento útil para promover materiales más sostenibles, económicos y adaptados al contexto productivo del país.

Objetivo general

Analizar las propiedades mecánicas de un material compuesto elaborado con fibras de plátano, paja toquilla y fibra sintética para su aplicación en entornos marítimos.

Objetivos específicos

1. Identificar las principales propiedades mecánicas de los materiales compuestos híbridos reforzados con fibras de plátano y paja toquilla en combinación con fibra de vidrio.
2. Elaborar probetas reforzadas con fibras naturales y sintéticas empleando un proceso de curado por polimerización inducida, para la caracterización de las propiedades mecánicas del material mediante ensayos de tracción según la norma ASTM D3039.

3. Comparar la resistencia a la tracción del material híbrido con la de fibras naturales y fibras sintéticas más utilizadas.

Justificación

En la actualidad, los sectores industriales y productivos se enfrentan al desafío de innovar sin comprometer el equilibrio ambiental. La búsqueda de materiales alternativos, sostenibles y con menor impacto ecológico ha promovido el interés por las fibras naturales, las cuales representan una opción viable para sustituir parcial o totalmente a los compuestos sintéticos en diversas aplicaciones. En este contexto, las fibras de plátano y la paja toquilla, abundantes en el territorio ecuatoriano y tradicionalmente utilizadas en la artesanía, emergen como recursos de gran potencial para ser aprovechados en el diseño de materiales compuestos de uso técnico.

El ámbito marítimo, por su naturaleza agresiva y demandante, requiere materiales con alta resistencia a la humedad, la salinidad y la exposición solar prolongada. Estos factores motivan el desarrollo de soluciones innovadoras que combinen la sustentabilidad con la funcionalidad. Al incorporar fibras vegetales con materiales sintéticos, se abre la posibilidad de mejorar sus propiedades mecánicas sin perder su carácter ecológico, generando así compuestos más livianos, resistentes y menos contaminantes.

Esta investigación se justifica en la necesidad de proponer alternativas tecnológicas que respondan tanto a las exigencias del sector marítimo como a los principios del desarrollo sostenible. Además, contribuye al aprovechamiento de recursos locales, fomentando el valor agregado de materias primas subutilizadas y promoviendo el conocimiento científico aplicado a realidades regionales. A largo plazo, el estudio puede incidir en la creación de nuevas líneas de producción ecoeficientes, impulsando la economía circular, la innovación tecnológica y el respeto

por el medio ambiente.

Marco teórico

En los últimos años, la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental ha impulsado el desarrollo de materiales compuestos más responsables con el entorno, priorizando procesos de fabricación eficientes y la sustitución progresiva de fibras sintéticas por fibras de origen natural. En este sentido, los compuestos reforzados con fibras naturales han despertado un notable interés debido a su potencial para reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos energéticos y materiales. Diversos estudios, como el de Hawary et al. (2023), destacan su aplicación en sectores exigentes como el ámbito marítimo, donde se han evaluado aspectos clave relacionados con la exposición al agua, el comportamiento mecánico de los materiales, los tratamientos previos de las fibras y los procesos de fabricación empleados. Asimismo, se reconoce que, pese a ciertas limitaciones frente a las fibras sintéticas, las fibras naturales ofrecen ventajas significativas desde el punto de vista económico y ambiental, posicionándose como una alternativa viable en el diseño de componentes marinos.

Por otro lado, el estudio desarrollado por Liu et al. (2019) se orientó a evaluar la influencia de la incorporación de fibras de vidrio y fibras de polipropileno en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del hormigón. Para este propósito, se elaboraron diferentes mezclas de hormigón que incluyeron diversas dosificaciones de fibra de vidrio y de polipropileno, además de una mezcla de referencia sin adición de fibras. Los contenidos de fibra considerados fueron del 0% (mezcla patrón), 0,5%, 1,0% y 1,5%. Los ensayos se llevaron a cabo a edades de 3, 7, 14 y 28 días, y los resultados evidenciaron que, a los 28 días, la resistencia a la compresión del hormigón incrementa progresivamente en comparación con el concreto patrón, en la medida en que aumenta el porcentaje de fibra de vidrio incorporado.

La investigación realizada por Rostra (2021) tuvo como finalidad establecer una comparación entre distintos tipos de fibras artificiales empleadas para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, específicamente la fibra de vidrio y la fibra de poliolefina. Para el hormigón reforzado con fibra de vidrio se elaboraron tres probetas por cada amasada, mientras que para el hormigón con adición de fibra de poliolefina se confeccionaron dos probetas por amasada. Los resultados obtenidos permitieron concluir que ambos tipos de fibra contribuyen al incremento de la resistencia a la flexión del concreto; sin embargo, la fibra de poliolefina presentó un mayor efecto de mejora en comparación con la fibra de vidrio.

Jagadeesh et al. (2015) desarrollaron una revisión detallada sobre la caracterización de la fibra de banano, en la que se resalta su potencial como material ecológico para aplicaciones en el ámbito de la ingeniería. El estudio aborda los procesos de extracción de la fibra a partir de residuos agrícolas, así como el análisis de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, destacando ventajas como su alta resistencia, bajo peso y reducido costo frente a fibras sintéticas tradicionales. Además, los autores subrayan la relevancia de los tratamientos químicos, especialmente el tratamiento alcalino, para mejorar el desempeño mecánico de la fibra, eliminar impurezas superficiales y favorecer una mejor adhesión con la matriz polimérica. Mediante técnicas de caracterización como la espectroscopía FTIR y la microscopía electrónica de barrido, se evidencia que las fibras tratadas presentan una interacción fibra-matriz más eficiente, lo que refuerza su viabilidad como refuerzo en materiales compuestos sostenibles.

Otro estudio que ha evidenciado el potencial de la fibra de banano como una alternativa sostenible frente a los materiales sintéticos convencionales. Vinoth et al. (2018) señalan que el uso de fibras naturales responde a la necesidad de disminuir el impacto ambiental generado por el consumo masivo de plásticos, promoviendo materiales renovables y biodegradables. La fibra de

banano se caracteriza por su bajo costo, menor densidad y amplia disponibilidad, lo que la convierte en una opción viable en comparación con fibras sintéticas como la fibra de vidrio. Asimismo, su aplicación como material de refuerzo en matrices poliméricas contribuye al desarrollo de productos más ecológicos, favoreciendo la reducción de la contaminación y el uso eficiente de los recursos naturales.

Fibras

Según Jaya (2025), “la fibra se define como el elemento fundamental de los materiales textiles, ya que se obtiene a partir de sustancias de origen natural o sintético, las cuales sirven como materia prima para la elaboración de hilos y, posteriormente, de tejidos”.

Las fibras textiles se agrupan en dos categorías principales

Fibras naturales

Las fibras naturales son materiales de origen vegetal, animal o mineral que se obtienen directamente de la naturaleza y pueden emplearse como refuerzo en distintos productos industriales. Se caracterizan por ser renovables, biodegradables y de bajo impacto ambiental en comparación con muchas fibras sintéticas. En ingeniería, son valoradas por su ligereza, buena relación resistencia-peso y disponibilidad. Además, su uso contribuye al desarrollo de materiales más sostenibles y ecológicamente responsables.

Fibras químicas o sintéticas

Son las que se producen mediante procesos industriales a partir de la transformación de polímeros, lo que permite obtener materiales con características específicas para su uso textil.

Fibras de vidrio

La fibra de vidrio es un material formado por la unión de múltiples filamentos de vidrio, los cuales se combinan con resinas sintéticas mediante procesos de moldeo para conformar estructuras livianas y de alta resistencia. Este material es ampliamente utilizado en la fabricación de embarcaciones, ya que no solo se emplea en la estructura principal, sino también en componentes como el casco y la cubierta (Merchan, 2025).

Historia de la planta del plátano

De acuerdo con diversos estudios, se ha determinado que la planta del plátano es una de las más antiguas conocidas por la humanidad. Sus primeros registros se sitúan aproximadamente hace tres mil años. En antiguos textos de origen chino se la menciona como la “fruta de los hombres sabios” (*Musa sapiens*), denominación relacionada con sus valiosas propiedades nutricionales (Rosero, 2023, p. 25).

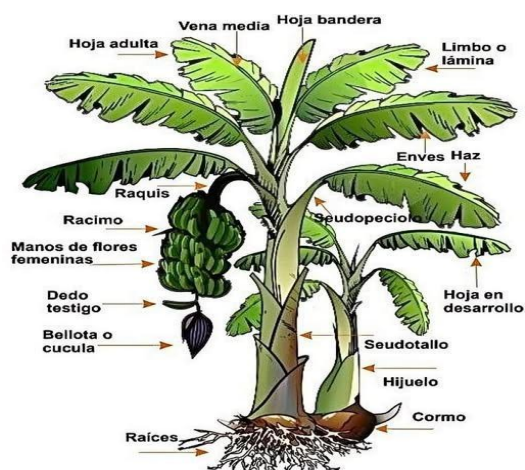
Por otro lado, el plátano es una planta originaria del sudeste asiático, región en la que surgieron las distintas variedades que actualmente se cultivan a nivel mundial. Con el transcurso del tiempo, su producción se difundió hacia otras zonas mediante rutas comerciales y procesos de colonización, alcanzando el continente americano. Su domesticación se dio inicialmente en áreas tropicales del sudeste de Asia, y se considera que sus primeros cultivos se desarrollaron en territorios como el noreste de la India, el sur de China, Myanmar y las islas cercanas del Pacífico occidental.

El pseudotallo es la parte de la planta que ha sido objeto de mayor análisis, debido a su estructura formada por capas compactas dispuestas de manera espiralada. Presenta una composición carnosa con alto contenido de agua y, como se observa en la Figura 1, constituye una

importante fuente de biomasa lignocelulósica residual. Las fibras extraídas pertenecen a la clasificación vegetal de tipo celulósico, específicamente de tallos. Estas fibras se caracterizan por sus propiedades térmicas, evidenciando curvatura al ser sometidas a tratamientos con vapor; además, poseen una tonalidad habana, buena resistencia a la tracción, torsión y tensión, sin verse afectadas por la humedad, aunque pueden presentar decoloración debido a la exposición solar.

Figura 1

Morfología del tallo del plátano



Nota. La figura muestra la morfología del tallo del plátano. Fuente: (Borja & Remache, 2021).

Historia de la planta de paja toquilla

La paja toquilla corresponde a una especie de palmera de estructura fibrosa, cuyas hojas se disponen en forma de abanico y emergen desde la base de la planta, sostenidas por pecíolos largos y de forma cilíndrica. Estas hojas son amplias y pueden alcanzar entre dos y tres metros de longitud; su parte externa presenta una coloración verde, mientras que el interior es de tonalidad marfil o blanco perlado, zona de la cual se extrae la fibra utilizada para la elaboración de sombreros

(Mederos et al., 2020).

La *Carludovica palmata* se desarrolla de manera silvestre en los bosques tropicales de las regiones Occidental y Oriental, en áreas situadas a altitudes aproximadas entre los 100 y 180 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas que oscilan entre 22 °C y 26 °C. Los suelos donde crece esta especie se caracterizan principalmente por su composición arcillosa.

La obtención de paja toquilla puede realizarse durante todo el año, ya que existen cultivos permanentes en diversas localidades del **Ecuador**, entre las que se destacan Montecristi, Jipijapa, Barcelona y Dos Mangas, entre otras

La cordillera Chongón–Colonche representa una de las zonas con mayor diversidad de cultivo de paja toquilla, favorecida por las condiciones climáticas húmedas del Ecuador. Estas características permiten el desarrollo de la planta y explican la distribución de esta fibra en provincias como Guayas, Santa Elena y Manabí, donde se registran aproximadamente 77 000 hectáreas cultivadas. Asimismo, la paja toquilla también se produce en la comuna Chachis o Cayapas, ubicada en la provincia de Esmeraldas; no obstante, se considera que este cultivo no es viable en zonas secas, ya que la calidad de la materia prima resultante no sería adecuada para su valorización.

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para la elaboración y evaluación del material compuesto se utilizaron los siguientes materiales, cuyas características técnicas y procedencias se describen de manera general, evitando nombres comerciales:

Fibras naturales

- Fibras de plátano (*Musa paradisiaca*)
- Paja toquilla (*Carludovica palmata*)

Fibras Sintéticas

- Fibras de vidrio

Métodos

Los métodos se presentan siguiendo un orden lógico y cronológico, permitiendo comprender paso a paso el proceso de elaboración y evaluación del material compuesto.

Preparación de las fibras naturales

Durante las fases de cosecha y poscosecha del plátano se generan diversos residuos vegetales, tales como el pseudotallo, el vástago que sostiene el racimo, la cáscara del fruto, la bellota y las hojas. Estos materiales suelen ser descartados y destinados a la descomposición natural para su reincorporación al suelo como abono (Chiappe, 2019).

Figura 2

Pseudotallo



Nota: Elaborado por el autor para este trabajo.

Extracción del pseudotallo

Una vez obtenido el pseudotallo, éste se secciona en capas, de las cuales se seleccionan aquellas que presentan mejores características estructurales, con el fin de obtener fibra de mayor calidad.

Desfibrado mecánico

Una vez seleccionadas las capas, estas se someten a un proceso de cepillado mecánico mediante el uso de un cepillo de cerdas metálicas, con el objetivo de extraer la fibra natural del plátano.

Secado

Posteriormente, la fibra obtenida se somete a un proceso de eliminación de humedad, para luego ser secada de forma natural mediante exposición solar.

Proceso de extracción de la paja toquilla

La producción de la paja toquilla es un proceso artesanal que comprende la recolección, tratamiento y secado de las fibras naturales, preservando técnicas tradicionales y garantizando la

calidad del material obtenido.

Figura 3

Paja toquilla (Carludovica palmata)



Nota: Elaborado por el autor para este trabajo.

Selección de la materia prima vegetal

La selección inicia con la recolección de hojas de paja toquilla (*Carludovica palmata*) en un estado óptimo de madurez, descartando aquellas inmaduras, sobremaduras o con daños mecánicos. Posteriormente, se realiza una inspección visual para eliminar hojas que presenten hongos, manchas, roturas o deformaciones.

Las hojas aceptadas son clasificadas de acuerdo con su longitud, grosor y uniformidad, parámetros que influyen directamente en la calidad de la fibra obtenida. Esta preselección garantiza una extracción más homogénea y contribuye a la reducción de pérdidas durante el proceso de desfibrado.

Cocción y secado

El proceso de cocción y secado de la paja toquilla comprende la inmersión de las fibras en agua en ebullición durante un período aproximado de 30 a 60 minutos, con el objetivo de eliminar

impurezas y mejorar la flexibilidad y uniformidad del material. Posteriormente, las fibras son escurridas y sometidas a un secado natural en ambientes ventilados o bajo exposición solar controlada, hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado para su conservación y posterior uso.

Clasificación

El proceso de clasificación de la fibra de paja toquilla consiste en separar las fibras extraídas y secas según su longitud, finura, uniformidad y estado físico, descartando aquellas con defectos, para garantizar su calidad y aptitud para el uso final.

Elaboración de probeta

La elaboración de probetas representa una etapa clave en la caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales, ya que permite asegurar que las muestras empleadas en los ensayos cumplan con los requisitos técnicos necesarios para obtener resultados precisos, confiables y repetibles. En la presente investigación, las probetas fueron fabricadas a partir de una matriz de resina poliéster reforzada con fibras naturales de plátano, paja toquilla y fibra de vidrio.

El proceso de fabricación se realizó considerando criterios como dimensiones normalizadas, espesor constante y una distribución uniforme de las fibras dentro de la matriz polimérica. El control de estos parámetros es fundamental para garantizar la homogeneidad del material compuesto, minimizar defectos estructurales y reducir posibles fallas durante la ejecución de los ensayos mecánicos.

Diseños y normas aplicadas

Según Rendón (2022), “La normativa ASTM D3039 es un método de ensayo estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica”.

Además, este procedimiento de ensayo tiene como finalidad obtener información sobre las

propiedades de tracción de los materiales, aplicable a especificaciones técnicas, actividades de investigación y desarrollo, control de calidad, así como al diseño y análisis estructural. La respuesta del material frente a esfuerzos de tracción está influenciada por diversos factores que deben ser debidamente documentados, entre los que se incluyen el tipo de material, los métodos de preparación y disposición, la secuencia de apilamiento de la probeta, su preparación y acondicionamiento, las condiciones del entorno de ensayo, la alineación y el sistema de sujeción, la velocidad de aplicación de la carga, el tiempo de exposición a la temperatura, el contenido de vacíos y el porcentaje volumétrico de refuerzo.

Este procedimiento de ensayo permite evaluar las propiedades de tracción en el plano de materiales compuestos con matriz polimérica reforzados con fibras de alto módulo. Su aplicación se restringe a compuestos reforzados con fibras continuas o discontinuas, cuyos laminados presentan una configuración equilibrada y simétrica con respecto a la dirección en la que se realiza el ensayo.

Requisitos de geometría de la muestra de tracción

Bajo la norma ASTM D3039, las probetas presentan una geometría rectangular con sección transversal uniforme. La longitud mínima de la muestra debe corresponder a la suma de la longitud total de sujeción, dos veces el ancho y la longitud de calibre; no obstante, se recomienda utilizar longitudes mayores con el fin de reducir los efectos de las tensiones por flexión. Asimismo, el ancho y el espesor de la probeta deben ser representativos del material a granel, especialmente en relación con el contenido de fibras (Comité D30 de ASTM, 2002).

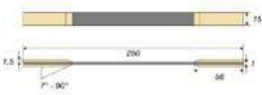

Se recomiendan cuatro geometrías de probetas para distintos tipos de materiales, incluyendo laminados unidireccionales, balanceados, simétricos y con refuerzo discontinuo de orientación aleatoria a 0°. La norma ASTM D3039 es aplicable tanto a materiales reforzados con

fibras continuas como discontinuas; sin embargo, la configuración del laminado de la muestra debe ser equilibrada y simétrica respecto a la dirección en la que se realiza el ensayo.

Probetas y dimensiones de conformidad con ASTM D3039

Figura 4

Tipos de probeta / laminado

Tipo de probeta / laminado	Representación gráfica de la forma de la probeta [simplificada, no está a escala]	Nota sobre el uso de tiras de refuerzo
Laminado UD de 0°		<p>Mientras que las probetas según ISO 527-4 e ISO 527-5 sólo admiten tiras de refuerzo rectas, la ASTM D3039 también permite el uso de tiras de refuerzo biseladas para probetas de tracción 0° UD.</p> <p>El ángulo recomendado está entre 7° y 90°, donde 90° corresponde de nuevo a una tira de refuerzo recta.</p>
Laminado UD de 90°		<p>Para laminados UD de 90°, siempre deben utilizarse tiras de refuerzo rectas, también en ASTM D3039.</p>
Laminados UD multidireccionales y de tejido, laminados reforzados con fibras discontinuas con orientación aleatoria de las fibras (por ejemplo, SMC).		<p>Para laminados multidireccionales UD o de tejido o para probetas de laminados discontinuos reforzados con fibra con orientación de fibra aleatoria, a menudo es suficiente el uso de tela abrasiva en lugar de elementos de aplicación de fuerza adheridos.</p>

Nota: Norma ASTM D3039 Fuente: zwickroell

Materiales y equipos utilizados

En esta sección se detallan los materiales empleados en la fabricación de las probetas, así como los equipos utilizados para la ejecución de los ensayos de caracterización mecánica.

Materiales

A continuación, se presentan los materiales utilizados en la fabricación de las probetas del material compuesto.

Resina poliéster

Como matriz del material compuesto se utilizó una resina poliéster insaturada de tipo ortoftálico, comercialmente denominada CRISTALÁN 896, la cual fue suministrada por la

empresa Disensa. Por otro lado, el curado de la resina es un proceso de polimerización inducido químicamente, mediante el cual se produce la reticulación de las cadenas moleculares, transformando la resina de un estado líquido a una estructura sólida, rígida y estable, a continuación se detallan los compuestos químicos externos que se utilizó en este proceso .

La resina de poliéster es un polímero obtenido mediante un proceso de policondensación entre un diácido, un dialcohol y un monómero insaturado, generalmente estireno. Este material se presenta inicialmente en estado líquido con una viscosidad elevada; para lograr su transición al estado sólido es necesario el uso de un catalizador que active el proceso de solidificación. El curado de la resina se desarrolla en dos etapas principales (García et al., 2019).

- En una primera etapa, la resina experimenta una transición desde el estado líquido hacia una condición intermedia conocida como gel, proceso que se denomina fase de gelación o gelificación.
- Posteriormente, una vez que la resina ha alcanzado el estado de gel, se inicia la etapa de curado, durante la cual ocurre el endurecimiento del material. En el transcurso de este proceso se libera una cantidad considerable de calor, sin que se produzca desprendimiento de sustancias del propio material.

Figura 5

Resina



Nota: La imagen muestra la resina poliéster, preparada con componentes estireno y cobalto. El Mekp peróxido del proceso de curado. Fuente: Elaborado por el autor para este trabajo.

Fibra de plátano

Se utilizó la fibra de plátano procedente de pseudotallo, se trabajó con secciones de aproximadamente 3 a 4 centímetros, en las cuales la fibra se dispuso por capas alternadas con fibra de vidrio. Este procedimiento se realizó considerando tres proporciones de refuerzo: 60 % de fibra natural y 40 % de fibra sintética; 60 % de fibra sintética y 40 % de fibra natural; y una relación equitativa de 50 % de fibra natural y 50 % de fibra sintética.

Figura 6

Fibra de plátano



Nota: Elaborado por el autor para este trabajo.

Fibra de paja toquilla

Se empleó fibra de paja toquilla obtenida a partir de la palma *Carludovica palmata*, se trabajó con secciones de aproximadamente 3 a 4 centímetros, en las cuales la fibra se dispuso por capas alternadas con fibra de vidrio. Este procedimiento se realizó considerando tres proporciones de refuerzo: 60 % de fibra natural y 40 % de fibra sintética; 60 % de fibra sintética y 40 % de fibra natural; y una relación equitativa de 50 % de fibra natural y 50 % de fibra sintética.

Figura 7*Fibra de paja toquilla*

Nota: Elaborado por el autor para este trabajo.

Fibra de vidrio

Coronado y Zevallos (2020), mencionan que las fibras de vidrio se producen a partir de materias primas como la magnesita, la sílice, la alúmina y la cal, componentes similares a los empleados en la fabricación del vidrio convencional. Estos materiales son previamente triturados y combinados hasta lograr una mezcla uniforme, la cual es sometida a un proceso de fusión en un horno a aproximadamente 1550 °C, alcanzando un estado líquido. Posteriormente, el material fundido se hace pasar a través de hileras con numerosos orificios de entre 1 y 2 mm de diámetro, donde es estirado para formar filamentos muy finos que oscilan entre 5 y 24 micras. Como resultado, la fibra de vidrio puede incorporarse en el diseño del concreto con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas. (p. 16).

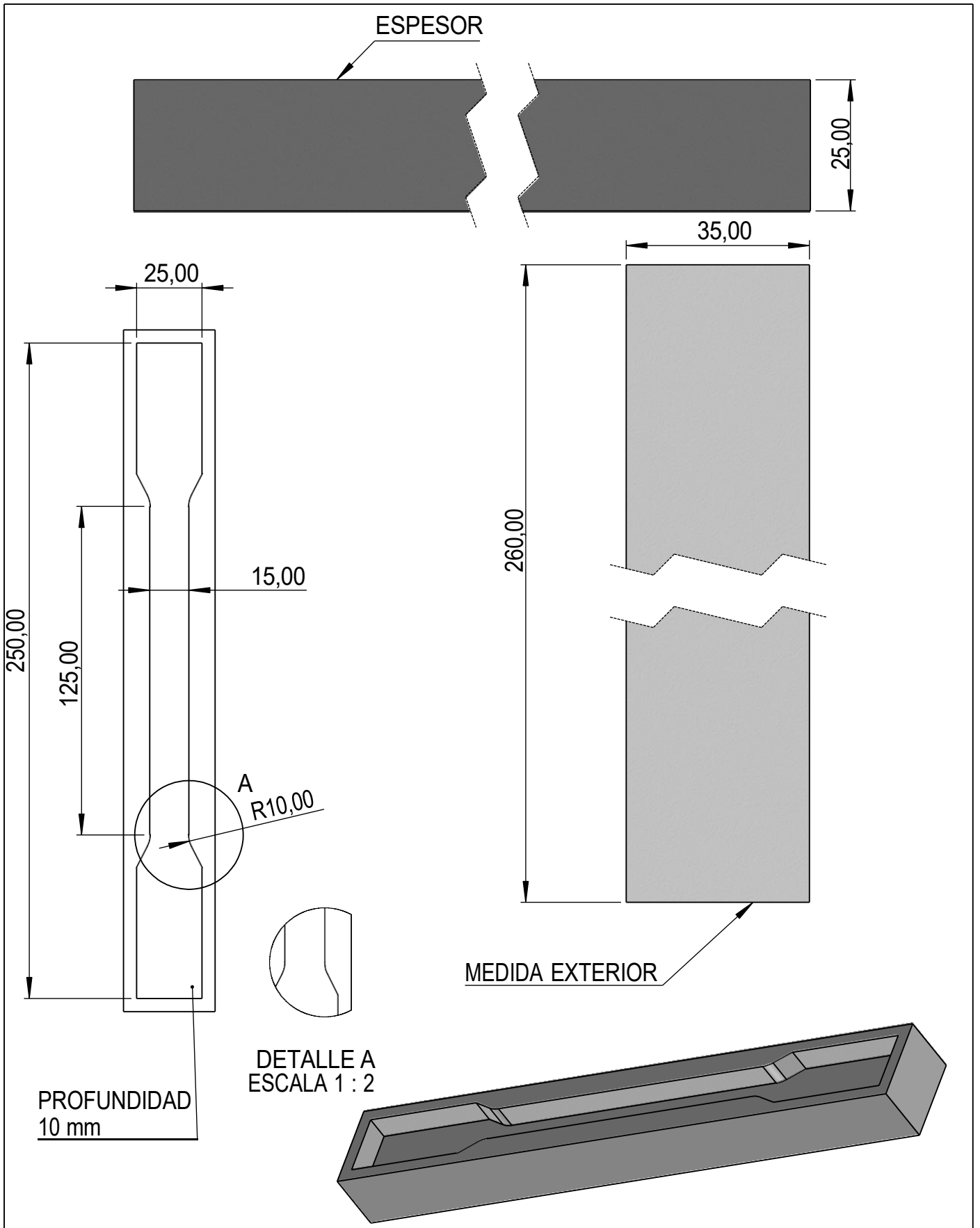
Se utilizaron microfibras de vidrio dispuestas en capas, combinadas con fibras de plátano y fibra de paja toquilla, de acuerdo con los porcentajes previamente establecidos.

Figura 8*Fibra de vidrio*



Nota: Material compuesto por fibra de vidrio Fuente: Elaboración propia

Plano del molde para elaboración de probetas



Nombre:	Fecha:	Universidad	DISEÑO DE PROBETA	
Kerlin Demera R.	02/02/2026	 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI		
Ing. Francisco Paredes	26/02/26		Facultad	POLIESTER
PROYECTO INVESTIGATIVO FIBRAS HIBRIDAS COMO MATERIALES SOSTENIBLES EN EL ÁMBITO MARÍTIMO			ING-MAR-2025(2)	
			HOJA 1 DE 1	

Máquina de ensayo universal

La máquina universal de ensayos, también conocida como máquina de pruebas, constituye el equipo fundamental para la investigación y el desarrollo de ensayos de materiales en diversos campos, tales como la industria, el ámbito militar, la metalurgia, la construcción naval, el control de calidad y el sector académico, entre otros (Rodríguez, 2021).

Figura 9

Máquina de ensayo universal







Nota: Máquina de Ensayos Universal "ULEAM" obtenido de: Facultad de Ingeniería Civil "Uleam"

Procedimiento de las etapas de elaboración de probetas

Tabla 1

Procedimiento de etapas de elaboración de probetas

N.	Proceso	Acción	Imagen
----	---------	--------	--------

1	Molde de la probeta	Permite un desmoldeo adecuado del material una vez concluido el proceso de solidificación.	
2	Vertimiento	Impregnación de la fibra mediante resina poliéster.	
3	Solidificación	Dejar transcurrir el tiempo necesario para que la resina complete su proceso de solidificación.	
4	Verificación	Proceso de desmoldeo y verificación de la integridad de la probeta.	
5	Ensayo de tracción	Se evalúa las propiedades mecánicas del material mediante la aplicación de una fuerza hasta provocar su ruptura.	

Nota: La tabla muestra el procedimiento de las etapas de elaboración de probetas. Fuente:

Elaboración propia

Figura 10

Probeta híbrida 50% fibra de vidrio y 50% fibra de paja toquilla



Nota: probeta compuesta de carácter híbrido. Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Probeta híbrida 40% fibra de vidrio y 60% fibra de paja toquilla



Nota: probeta compuesta de carácter híbrido. Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Probeta híbrida 60% fibra de vidrio y 40% fibra de paja toquilla



Nota: probeta compuesta de carácter híbrido. Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Probeta híbrida 60% fibra de vidrio y 40% fibra de plátano



Nota: probeta compuesta de carácter híbrido. Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Probeta híbrida 40% fibra de vidrio y 60% fibra de plátano



Nota: probeta compuesta de carácter híbrido. Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Probeta híbrida 50% fibra de vidrio y 50% fibra de plátano



Nota: probeta compuesta de carácter híbrido. Fuente: Elaboración propia

Ensayo de tracción

En los ensayos de tracción se evidenciaron diferencias notables en el esfuerzo máximo soportado y en la deformación presentada por las probetas, dependiendo la combinación de porcentaje entre la fibra sintética y la fibra natural. Las probetas híbridas, reforzadas con fibras de paja toquilla, plátano y fibra de vidrio, presentaron comportamientos mecánicos diferenciados, lo que evidencia la influencia conjunta de las propiedades de cada tipo de fibra en el desempeño del material compuesto.

Para evaluar el comportamiento mecánico del material compuesto, se ensayaron probetas híbridas con tres proporciones de refuerzo, combinando fibra de vidrio con paja toquilla y fibra de vidrio con fibra de plátano. En el caso de las probetas reforzadas con paja toquilla, se analizaron las configuraciones 60 % fibra de vidrio – 40 % paja toquilla, 50 % fibra de vidrio – 50 % paja toquilla y 60 % paja toquilla – 40 % fibra de vidrio, con el propósito de determinar la influencia de la proporción de fibras en la resistencia máxima a la tracción.

Los resultados obtenidos en la máquina universal de tracción indicaron que la configuración 50 % fibra de vidrio 50 % paja toquilla presentó el mejor comportamiento mecánico, alcanzando una resistencia máxima a la tracción de **23,6997 N/mm²**, superando a las demás combinaciones evaluadas.

De manera similar, para las probetas híbridas reforzadas con fibra de plátano se codificaron 60 % fibra de vidrio 40 % fibra de plátano, 50 % fibra de vidrio 50 % fibra de plátano y 60 % fibra de plátano 40 % fibra de vidrio. Los resultados evidenciaron que la configuración 60 % fibra de vidrio 40 % fibra de plátano alcanzó la mayor resistencia máxima a la tracción, con un valor de

38,8625 N/mm², lo que refleja un desempeño mecánico superior en comparación con las demás proporciones analizadas.

Metodología

Los ensayos fueron llevados a cabo en una máquina universal de tracción, cumpliendo con condiciones de prueba estandarizadas.

- Norma Utilizada: ASTM D3039.
- Velocidad de Carga: 5 mm/min
- Temperatura: 20 °C
- Forma: Plano.
- N.º de Muestra: 6

Los parámetros evaluados incluyen:

- Resistencia máxima a tracción: N/mm^2
- Desplazamiento máximo: mm
- Deformación máxima: %

Parámetros y resultados fibra de paja toquilla

El presente apartado expone los parámetros de evaluación y los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados a las fibras híbridas los cuales fueron desarrollados en el laboratorio de Hormigón, Suelos y Materiales “Bolívar Ortiz Logroño” de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Dichos ensayos tuvieron como finalidad caracterizar las propiedades relevantes de este material, con el propósito de analizar su comportamiento y su posible aplicación en la industria marítima.

A continuación, se presentan las tablas correspondientes que contienen los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas, los cuales servirán como base para su posterior

análisis e interpretación.

Tabla 2

Parámetros de fibra de la paja toquilla

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
60% sintética 40% natural	10,0000	14,3000	146,0000
60% natural 40% sintética	10,0000	14,7000	132,0000
50% sintética 50% natural	10,0000	14,2000	149,0000

Nota: La tabla muestra los parámetros de la fibra de paja toquilla. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

Resultados obtenidos de las fibras híbridas de paja toquilla

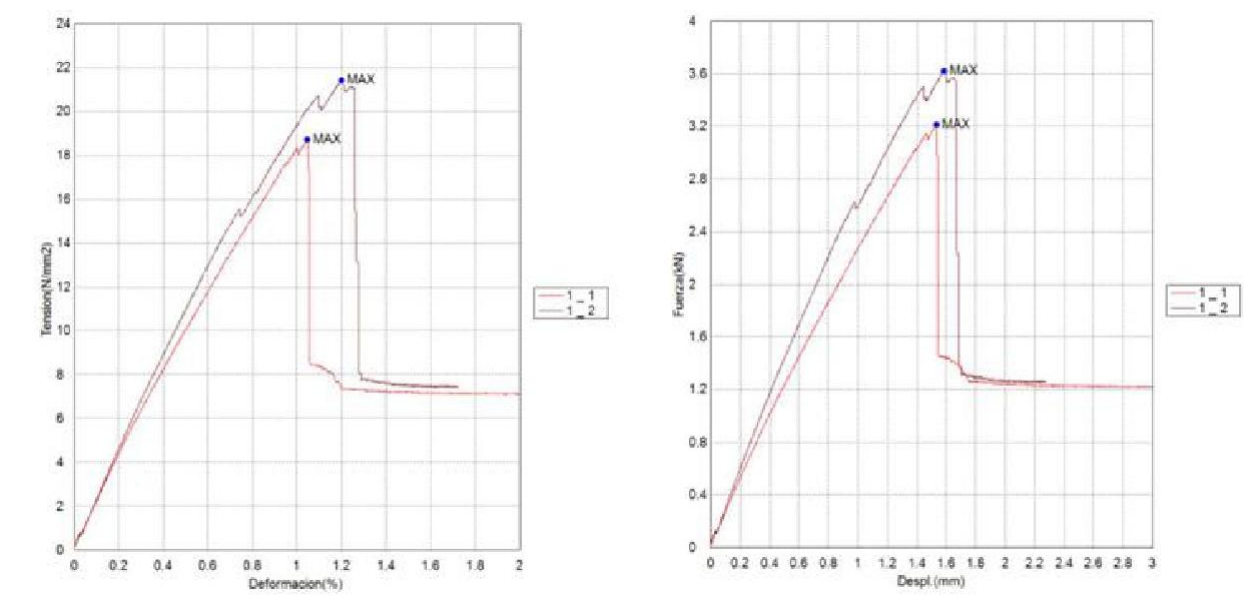
Nombre Parámetros	Max. fuerza Calc. At entire Áreas	Max_Tension Calc. At Entire Áreas	Max. Desplazamiento Calc. at Entire Áreas	Max_Deformación Calc. at Entire Áreas
Unidad	kN	N/mm²	mm	%
60% sintética 40% natural	3,20943	18,7030	1,53163	1,04762
60% natural 40% sintética	3,61904	21,4081	1,58525	1,20095
50% sintética 50% natural	3,29900	23,6997	2,0218	1,36613
Media	3,3758	21,2703	1,7129	1,2049
Desviación estándar	0,2153	2,5012	0,2689	0,1593
Rango	0,4096	4,9967	0,4902	0,3185

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos de la fibra híbrida paja toquilla. Fuente:

Elaboración propia

Figura 16

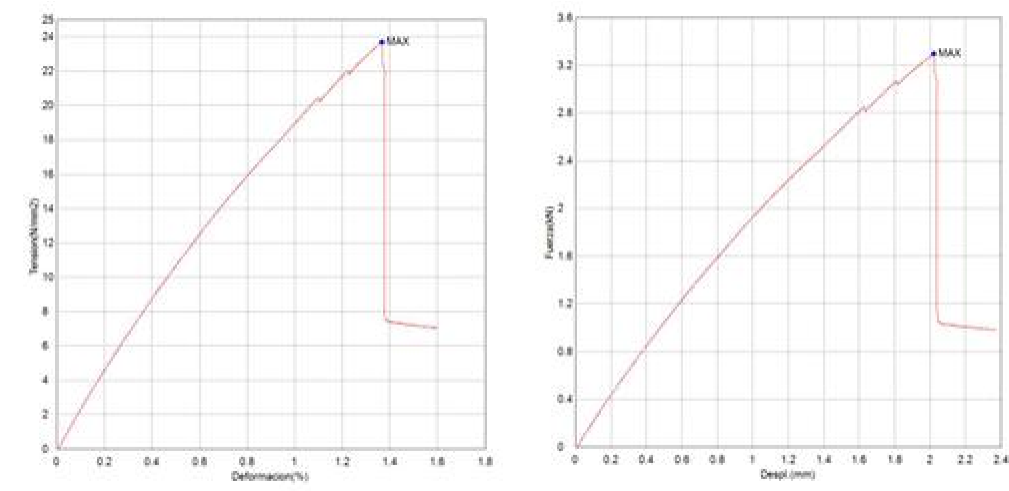
Gráficos de Tensión – Deformación paja toquilla 1



Nota: Gráficos de Tensión – Deformación // Fuerza – Desplazamiento, Fibra compuesta de paja toquilla. Fuente: Máquina de ensayo universal

Figura 17

Gráficos de Tensión – Deformación paja toquilla 2



Nota: Gráficos de Tensión – Deformación // Fuerza – Desplazamiento, Fibra compuesta de paja toquilla. Fuente: Máquina de ensayo universal

Tabla 4*Parámetros de la fibra híbrida de plátano*

Nombre de muestra	de Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
60% sintética 40% natural	10,0000	15,0000	133,0000
60% natural 40% sintética	10,0000	16,0000	139,0000
50% sintética 50% natural	10,0000	14,0000	131,0000

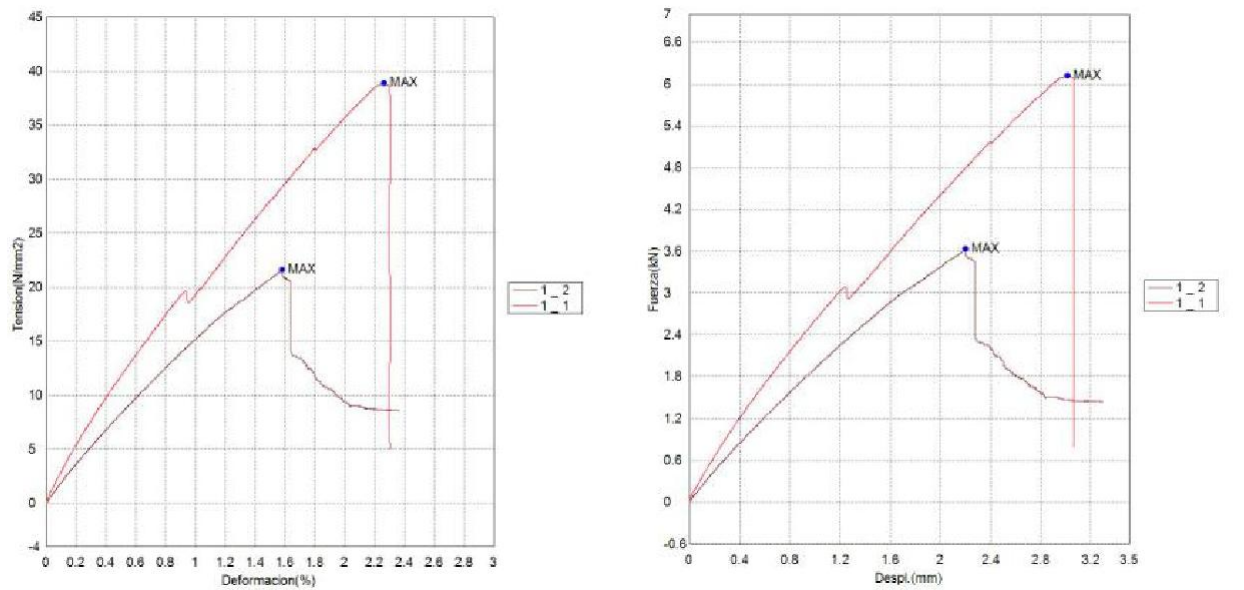
Nota: La tabla muestra los parámetros de la fibra híbrida de plátano. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5*Resultados obtenidos de la fibra híbrida plátano*

Nombre parámetros unidad	Max. fuerza Calc. At entire Areas kN	Max_Tension Calc. At Entire Areas N/mm²	Max. Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max. Deformación Calc. at Entire Areas %
60% sintética 40% natural	6,12084	38,8625	3,01138	2,26419
60% natural 40% sintética	3,63032	21,6091	2,19838	1,58157
50% sintética 50% natural	4,17082	27,9733	2,00513	1,53063
Media	4,6407	29,4816	2,4050	1,7921
Desviación estándar	1,3101	8,7250	0,5340	0,4096
Rango	2,4905	17,2534	1,0063	0,7336

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos de la fibra híbrida plátano. Fuente: Elaboración propia

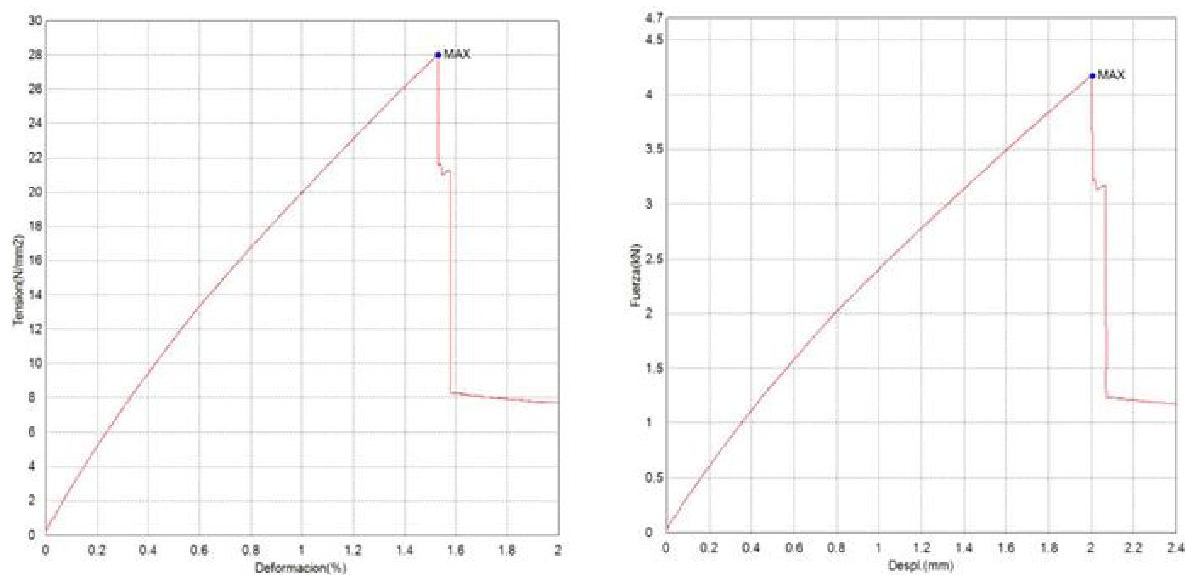
Figura 18*Gráficos de Tensión – Deformación plátano 1*



Nota: Gráficos de Tensión – Deformación // Fuerza – Desplazamiento, Fibra compuesta de plátano. Fuente: Máquina de ensayo universal

Figura 19

Gráficos de Tensión – Deformación plátano 2



Nota: Gráficos de Tensión – Deformación // Fuerza – Desplazamiento, Fibra compuesta de Plátano. Fuente: Máquina de ensayo universal

Resultados obtenidos

En esta sección se presentan los resultados derivados de los ensayos realizados a los materiales compuestos elaborados con fibras naturales combinadas con fibra sintética. Los datos obtenidos permiten analizar el comportamiento mecánico de cada muestra, considerando variables como la tensión máxima, el desplazamiento máximo y el porcentaje de deformación. Para una mejor comprensión y organización de la información, los resultados se exponen en las tablas siguientes, donde se detallan los valores alcanzados por cada combinación de fibra híbrida evaluada.

Tabla 6

Resultados obtenidos de la fibra híbrida de paja toquilla

Fibra de paja toquilla	Tensión máxima N/mm²	Max.Desp. mm	Max. Deformación %
60% sintética 40% natural	21,4081	1,58525	1,04762
40% natural 60% sintética	18,7030	1,53163	1,04762
50% sintética 50% natural	23,6997	2,02188	1,36613

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos de la fibra híbrida plátano. Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Resultados obtenidos de la fibra híbrida de plátano

Fibra de plátano	Tensión máxima N/mm²	Max.Desp. mm	Max. Deformación %
-------------------------	--	-------------------------------	-------------------------------------

60% sintética	38.8625	3.01138	2.26419
40% natural			
60% natural	21.6091	2.19838	1.58157
40% sintética			
50% sintética	27.9733	2.00513	1.53063
50% natural			

Nota: La tabla muestra los resultados obtenidos de la fibra híbrida paja toquilla. Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Comparación de los materiales compuestos

Nombre de muestra	Tensión máxima	Max.Desp.	Max. Deformación
Material	N/mm ²	mm	%
Fibra de plátano 60% sintética 40% natural	38,8625	3,01138	2,26419
Fibra de paja toquilla 50% sintética 50% natural	23,6979	2,02188	1,36613

Nota: La tabla muestra comparación de los materiales compuestos. Fuente: Elaboración propia

Resistencia máxima a tracción

Este parámetro permite evaluar la capacidad del material para resistir esfuerzos de tracción durante su aplicación en condiciones reales de servicio. El material híbrido reforzado con fibra de plátano, compuesto por un 60 % de fibra de vidrio y un 40 % de fibra de plátano, alcanzó una resistencia a la tracción de **38,86 N/mm²**, valor superior al obtenido por la combinación híbrida de

50% de vidrio 50% paja toquilla, que registró **23,70 N/mm²**. Estos resultados evidencian que el refuerzo con fibra de plátano proporciona una mayor capacidad del material para soportar cargas axiales.

Máximo Desplazamiento

Este valor expresa la ductilidad del material, es decir, su habilidad para experimentar deformación plástica previa a la ruptura bajo la acción de una carga. El material híbrido reforzado con fibra de plátano presentó un desplazamiento ligeramente superior (**3,01 mm**) en comparación con el material híbrido con fibra de paja toquilla (**2,02 mm**), lo que sugiere una mayor capacidad de deformación antes de la falla.

Deformación Máxima

Este parámetro permite evaluar la elasticidad del material, así como su capacidad para deformarse sin llegar a la ruptura. El material híbrido reforzado con fibra de plátano presentó una deformación del **2,26 %**, mientras que el híbrido con fibra de paja toquilla registró un valor de **1,37 %**, lo que confirma que la fibra de plátano posee una mayor capacidad de alargamiento relativo.

**CAPÍTULO III COMPARACION CON FIBRAS SINTÉTICAS Y FIBRAS
NATURALES**

La selección adecuada de materiales es fundamental para garantizar el desempeño y la durabilidad de las estructuras marítimas. Aunque las fibras sintéticas, como la fibra de vidrio y la fibra de carbono, han sido ampliamente empleadas debido a sus favorables propiedades mecánicas y su resistencia en ambientes exigentes, su utilización conlleva desventajas significativas. Entre estas se destacan los elevados costos de producción, el considerable impacto ambiental asociado a su fabricación y las limitaciones en los procesos de reciclaje al finalizar su vida útil. Estas problemáticas evidencian la necesidad de investigar alternativas más sostenibles que mantengan un desempeño mecánico adecuado, como el uso de fibras naturales en materiales compuestos.

En contraste, las fibras híbridas que incorporan materiales naturales, como el plátano y la paja toquilla, se presentan como una alternativa sostenible, debido a su bajo costo, amplia disponibilidad y carácter biodegradable. No obstante, estas fibras suelen exhibir propiedades mecánicas inferiores cuando se comparan con aquellas compuestas exclusivamente por fibras sintéticas.

Por otro lado, los materiales compuestos híbridos que incorporan fibras naturales, como la fibra de plátano y la paja toquilla, surgen como una alternativa sostenible frente a los refuerzos convencionales. Sus principales ventajas incluyen el bajo costo, la amplia disponibilidad y su carácter biodegradable; sin embargo, estas fibras presentan propiedades mecánicas inferiores en comparación con los materiales reforzados exclusivamente con fibras sintéticas.

Propiedades mecánicas

En este apartado se realiza una comparación entre las fibras naturales, las fibras híbridas y las fibras sintéticas de uso más común, como la fibra de vidrio y la fibra de carbono, considerando parámetros fundamentales como la resistencia a la tracción y la deformación.

Resistencia a Tracción

1. Las fibras de carbono y de vidrio exhiben valores de resistencia considerablemente más altos, atribuibles a su composición química y a su estructura interna.
2. La fibra híbrida compuesta de plátano y vidrio indica que el material puede soportar cargas de tracción moderadamente altas antes de fallar, lo cual es relevante para aplicaciones marítimas no estructurales críticas.
3. La fibra híbrida compuesta de paja toquilla y vidrio muestran que el material híbrido presenta una resistencia a la tracción intermedia, mayor que la observada en fibras completamente naturales, aunque menor en comparación con sistemas híbridos con mayor proporción de refuerzo sintético. Este desempeño indica su viabilidad para aplicaciones marítimas de baja a media demanda mecánica, tales como componentes secundarios, paneles y elementos no estructurales, en los que se prioriza la ligereza y la sostenibilidad del material.
4. La fibra natural de paja toquilla sobresale entre las fibras naturales analizadas por presentar una mayor resistencia, lo que sugiere su potencial aplicación en la fabricación de componentes.
5. La fibra natural de plátano, si bien presenta una menor resistencia mecánica, posee una mayor flexibilidad, lo que la convierte en una opción adecuada para aplicaciones decorativas o para componentes sometidos a menores exigencias estructurales.

Tabla 9

Tracción de diferentes fibras

Material	Tracción N/mm²	Comentario
-----------------	----------------------------------	-------------------

Fibra de Carbono	700 - 4900	Por lo general, este material presenta valores de resistencia elevados, destacándose por su alta resistencia mecánica, bajo peso, elevada rigidez y buena resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de alto rendimiento.
Fibra de vidrio	1500 - 3500	Presenta una elevada resistencia mecánica, junto con una adecuada resistencia química y a la corrosión, además de un costo relativamente menor, lo que favorece su uso en una amplia gama de aplicaciones.
Fibra híbrida plátano y vidrio	38,8625	para aplicaciones marítimas no estructurales críticas, donde se requieren resistencia mecánica, ligereza y cierta flexibilidad.
Fibra híbrida paja toquilla y vidrio	23,6979	El material puede emplearse en aplicaciones marítimas de baja a media exigencia mecánica, como componentes secundarios, paneles o elementos no estructurales
Fibra de paja toquilla	15,10	Moderada, adecuada para aplicaciones secundarias o híbridas.
Fibra de plátano	9,23	

Nota: La tabla muestra tracción de diferentes fibras. Fuente: Elaboración propia

Deformación máxima

La deformación máxima representa el alargamiento que un material puede experimentar antes de la ruptura, constituyendo un parámetro relevante para aplicaciones en las que se requiere flexibilidad.

Tabla 10

Deformación máxima de diferentes fibras

Material	Deformación máxima %	Comentario
Fibra de Carbono	1 – 2	Por lo general, este tipo de material exhibe elevados valores de resistencia y rigidez, lo que se traduce en una menor deformación máxima, siendo adecuado para aplicaciones de alto rendimiento.
Fibra de Vidrio	2 - 3	Presenta una resistencia adecuada y una deformación máxima superior en comparación con la fibra de carbono, además de ser más económica y de fácil procesamiento.
Fibra híbrida plátano y vidrio	2,64	Presenta una buena capacidad de deformación antes de la ruptura.
Fibra híbrida paja toquilla y vidrio	1,37	Refleja un comportamiento más rígido y una menor capacidad de deformación antes de la ruptura.

Fibra de paja toquilla	1,30	Presenta una deformación reducida, lo que evidencia su comportamiento más rígido en comparación con otras fibras naturales.
Fibra de plátano	1,47	Mayor flexibilidad, ideal para absorber impactos menores.

Nota: La tabla muestra la deformación máxima de diferentes fibras. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Las probetas de materiales híbridos, compuestas por fibras naturales de plátano y paja toquilla combinadas con fibra sintética de vidrio, mostraron comportamientos distintos frente a cargas axiales. La probeta híbrida con 60 % de fibra sintética y 40 % de fibra de plátano alcanzó una resistencia máxima a la tracción de 38,86 N/mm², mientras que la probeta híbrida con 50 % de fibra sintética y 50 % de paja toquilla registró un esfuerzo máximo de 23,70 N/mm², evidenciando la influencia del tipo y proporción de fibras en el desempeño mecánico del material.
- La elaboración de probetas reforzadas con fibras naturales y sintéticas mediante un proceso de curado por polimerización inducida permitió obtener muestras adecuadas para su evaluación mecánica, cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma ASTM D3039, lo que garantiza la confiabilidad y repetibilidad de los ensayos de tracción realizados.
- Los resultados obtenidos evidencian una variación significativa en la resistencia del material cuando el contenido de fibra sintética es igual o superior al de la fibra natural. En este contexto, el material híbrido reforzado con fibra de plátano se posiciona como el más adecuado para soportar esfuerzos de tracción, debido a su mayor capacidad de carga.
- Por otra parte, las fibras híbridas analizadas presentan valores de resistencia y rigidez moderados en comparación con fibras sintéticas como la fibra de vidrio y la fibra de carbono; sin embargo, estos valores son superiores a los registrados por las fibras naturales. La combinación de refuerzos naturales y sintéticos permite obtener una mayor resistencia a la tracción, lo que favorece su aplicación en componentes donde se requiere un balance entre desempeño mecánico, reducción de peso y sostenibilidad. En el contexto marítimo,

estos materiales resultan adecuados para aplicaciones de baja a media exigencia estructural, tales como paneles interiores, recubrimientos, elementos decorativos, carenados, divisiones y componentes secundarios, sin comprometer la integridad estructural principal.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir investigando el comportamiento del material compuesto hecho con fibras de plátano y paja toquilla en condiciones del entorno marítimo. Esto incluye la exposición prolongada a la humedad, la salinidad y la radiación solar, cuyo objetivo es evaluar su durabilidad y estabilidad a largo plazo.
2. Se sugiere ampliar el estudio para incluir más pruebas mecánicas y físicas, como la flexión, el impacto y la fatiga. Esto permitirá una caracterización más completa del rendimiento del material compuesto y fortalecer su posible uso en componentes marítimos.
3. Se recomienda la aplicación del material compuesto en componentes marítimos no estructurales, tales como paneles, recubrimientos y elementos secundarios, como una alternativa sostenible que permita aprovechar fibras naturales locales y disminuir el uso de materiales sintéticos convencionales.
4. Se propone evaluar diferentes matrices poliméricas, incluyendo resinas biobasadas o alternativas de menor impacto ambiental, con el fin de comparar su influencia en el comportamiento mecánico y en la sostenibilidad del material compuesto.
5. Se sugiere profundizar en el análisis de diversas proporciones y configuraciones de fibras naturales y sintéticas dentro del material compuesto, con el objetivo de identificar combinaciones óptimas que logren un equilibrio entre resistencia mecánica, ligereza y sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbuena, D. N. G., Mena, R. G. O., Maldonado, M. A. M., & Chávez, J. L. V. (2025). Aplicaciones de las fibras naturales en el sector industrial. Revisión general. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9988939>
- Bastidas Ñacato, E. D., & Verdezoto Borja, J. M. (2021). Efecto de fibras naturales de Carludovica palmata (paja toquilla) en resistencia a compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPa. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20267/1/UPS%20-%20TTS359.pdf>
- Borja, D., & Remache, A. (2021). Estudio de biocompuestos con refuerzo de fibra de pseudotallo/plátano para creación de partes automotrices: Revisión. Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional, 6(6), 3–23. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2737>
- Chiappe Bueno, S. (2019). Musa: Fibra de plátano. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/45661>
- Comité D30 de ASTM. (2002). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. Copyright. <https://es.scribd.com/document/387033308/Norma-ASTM-D3039>
- Coronado, J., & Zevallos, J. (2020). Efecto del costo y la resistencia en el diseño del concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3801>
- Crupi, V., Epasto, G., Napolitano, F., Palomba, G., Papa, I., & Russo, P. (2023). Green composites for maritime engineering: A review. Journal of Marine Science and Engineering, 11(3),

599. <https://doi.org/10.3390/jmse11030599>
- García, C., López, E., Muñoz, A., & Peñas, P. (2019). Resina de poliéster. Universidad Politécnica de Madrid. https://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/3942/4039
- Hawary, O. E., Boccarusso, L., Ansell, M. P., Durante, M., & Pinto, F. (2023). An overview of natural fiber composites for marine applications. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 1076. <https://doi.org/10.3390/jmse11051076>
- Jagadeesh, D., Venkatachalam, R., & Nallakumarasamy, G. (2015). Characterisation of banana fiber: A review. *Journal of Environmental Nanotechnology*, 4(2), 23–26. <https://doi.org/10.13074/jent.2015.06.152154>
- Liu, J., Jia, Y., & Wang, J. (2019). Experimental study on mechanical and durability properties of glass and polypropylene fiber reinforced concrete. *Fibers and Polymers*, 20(9), 1900–1908. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-1028-9>
- Mederos, M., Balmaseda, C., Suárez, D., & Paula, M. (2020). La producción agrícola de la paja toquilla en Ecuador, el flujo productivo artesanal y la formación de precios. *Killkana Técnica*, 4(2), 29–34. <https://doi.org/10.26871/killkanatecnica.v4i2.688>
- Merchan, J. (2025). Diseño interior de embarcaciones de recreo utilizando criterios de flexibilidad y optimización espacial [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/15646>
- Rendón, J. (2022). Caracterización mecánica de un material compuesto de fibra de carbono con matriz de resina epoxi [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22518>
- Rodríguez, Y. (2021). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para una máquina universal de ensayos [Pontificia Universidad Católica del Perú].

<http://hdl.handle.net/20.500.12404/18297>

Rosero, J. (2023). Elaboración de hilo con fibras obtenidas del pseudotallo de la planta de plátano

“Musa paradisiaca” [Universidad Técnica del Norte].

<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14492/2/04%20IT%20337%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Rostra, S. (2021). Estudio comparativo de los hormigones reforzados con fibra de vidrio y con

fibra de poliolefina (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València.

<http://hdl.handle.net/10251/173431>

Vinoth, R., Gokulnath, K., Barathkumar, K., Ahildarshan, K., & Gokulprakash, E. (2018). A study

of banana fiber: A review. International Journal for Scientific Research & Development,

6. <https://www.ijserd.com/articles/IJSRDV6I90103.p>

ANEXO

Anexo A

Norma utilizada para el ensayo de tracción

Norma: ASTM International ASTM D3039/D3039M

Título: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

Obtenido de: ASTM International. (2002). *Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials (ASTM D3039/D3039M)*. ASTM International.

Anexo B

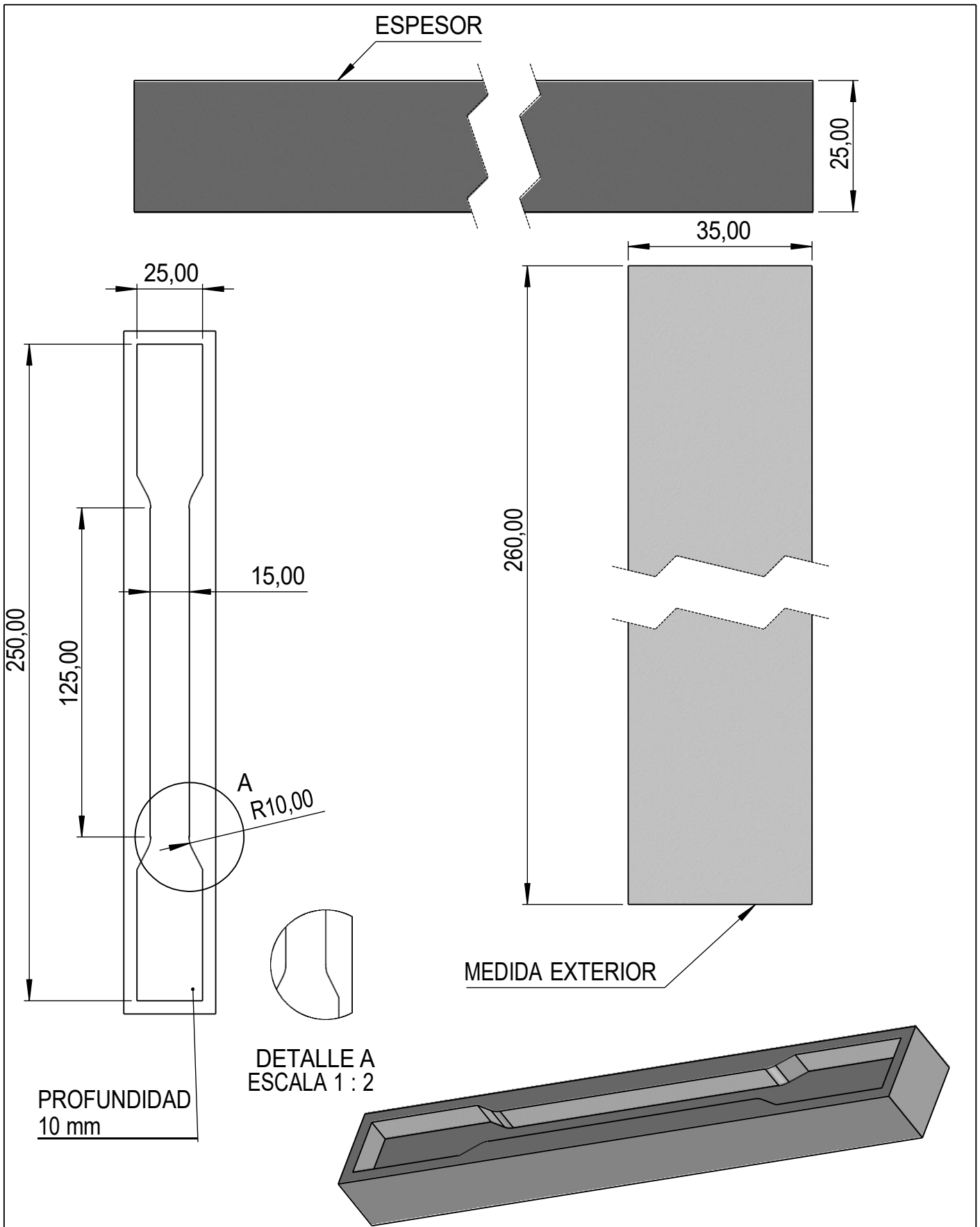
Preparación manual de probetas para ensayo de tracción según la norma ASTM D3039/D3039M.



Ilustración 1 Elaboración propia de las probetas

Anexo C

El plano fue desarrollado utilizando el software SolidWorks, siguiendo las especificaciones establecidas en la norma ASTM D3039/D3039M para ensayos de tracción en materiales compuestos.



Nombre:	Fecha :	Universidad	DISEÑO DE PROBETA	
Kerlin Demera R.	02/02/2026	 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ		
Ing. Francisco Paredes	26/02/26		Facultad	POLIESTER
PROYECTO INVESTIGATIVO FIBRAS HIBRIDAS COMO MATERIALES SOSTENIBLES EN EL ÁMBITO MARÍTIMO			ING-MAR-2025(2)	