



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO MARÍTIMO

Modalidad Proyecto de Investigación

**“DISEÑO DE UN PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL
USO DE FIBRAS NATURALES EN EMBARCACIONES ARTESANALES
EXPUESTAS A CONDICIONES MARINAS”**

Autor:

Ivicevic Hualpa Ante

Tutor Académico:

Ing. Francisco Javier Paredes Mera

Manta – Ecuador

2025

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
|  | 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:

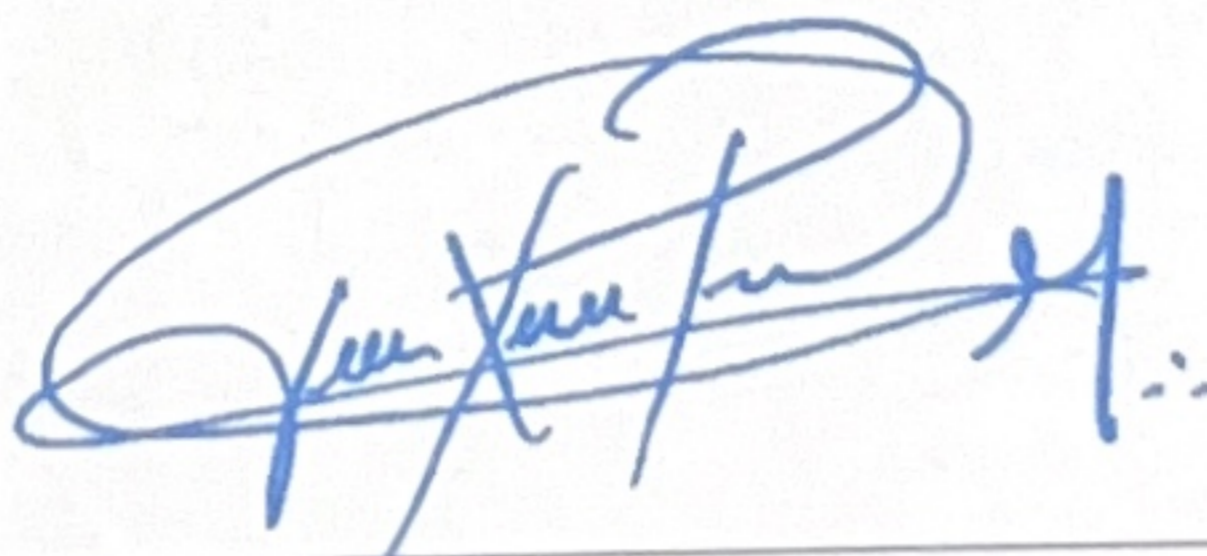
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Ante Ivcevic Hualpa, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, periodo académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es "DISEÑO DE UN PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL USO DE FIBRAS NATURALES EN EMBARCACIONES ARTESANALES EXPUESTAS A CONDICIONES MARINAS".

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, y la originalidad del mismo, requisitos 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

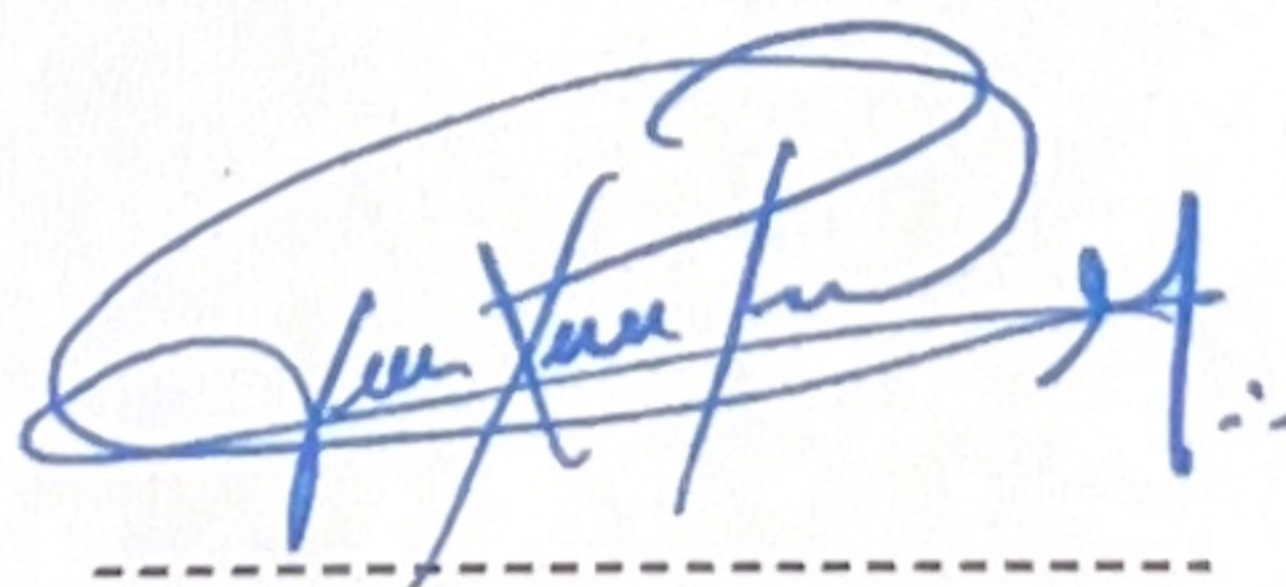
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Yo, IVICEVIC HUALPA ANTE, con cedula de identidad; 1310845241, 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 "DISEÑO DE UN PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL USO DE FIBRAS NATURALES EN EMBARCACIONES ARTESANALES EXPUESTAS A CODICIONES MARINAS", periodo académico 2025(1)-2025(2), son de mi total autoría.

Manta, 02 de febrero de 2026.



Ivicovic Hualpa Ante



Ing. Francisco Javier Paredes Mero

Docente Tutor

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, por su apoyo constante, esfuerzo y acompañamiento a lo largo de mi formación personal y profesional.

De igual manera, lo dedico a mi familia, por el respaldo y motivación brindados durante este proceso académico.

Ivicevic Hualpa Ante

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios por la fortaleza y constancia que me permitieron culminar esta etapa de formación profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional y acompañamiento durante toda mi carrera universitaria.

A mi familia, por el respaldo y motivación brindados a lo largo de este proceso.

A mi director de tesis, por su orientación y apoyo académico durante el desarrollo del presente trabajo.

A los docentes de la carrera, por los conocimientos impartidos a lo largo de mi formación profesional.

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

Ivicevic Hualpa Ante

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | III |
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| TABLA DE CONTENIDOS | 6 |
| SÍNTESIS | 8 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| Justificación | 11 |
| Problema de Investigación..... | 11 |
| Objeto de la Investigación | 12 |
| Campo de la Investigación..... | 12 |
| Hipótesis | 12 |
| Objetivo General | 13 |
| Tareas Específicas | 13 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO | 14 |
| Conceptos básicos de materiales compuestos | 14 |
| Definición de composites..... | 14 |
| Componentes: matriz y refuerzo. | 15 |
| Tipos de fibras: sintéticas vs naturales. | 16 |
| Fibras naturales y sus tipos | 18 |
| Tipos de fibras naturales utilizadas en ingeniería y construcción naval..... | 18 |
| Propiedades mecánicas de las fibras naturales..... | 20 |
| Ventajas y desventajas frente a fibras sintéticas | 20 |
| Comportamiento de fibras naturales en agua salada: degradación, hinchazón, pérdida de resistencia | 22 |
| Normativas y estándares técnicos aplicables en construcción naval | 23 |
| Normas de la Organización Internacional de Normalización para Materiales Compuestos..... | 24 |
| Tipos de ensayo que sea realizado sobre materiales compuestos en embarcaciones artesanales | 25 |
| Antecedentes Investigativos..... | 28 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO II METODOLOGÍA | 32 |
| 3.1 Enfoque de la investigación | 32 |
| 3.2 Tipo de investigación..... | 32 |
| 3.3 Nivel o alcance de la investigación | 33 |
| 3.4 Diseño de la investigación | 34 |
| 3.5 Métodos de investigación..... | 34 |
| 3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información | 35 |
| Instrumentos..... | 36 |
| 3.7 Procedimiento metodológico..... | 36 |
| CAPÍTULO III..... | 39 |
| ANÁLISIS DOCUMENTAL Y REVISIÓN TÉCNICA DEL USO DE FIBRAS NATURALES EN EMBARCACIONES ARTESANALES | 39 |
| CAPITULO IV PROPUESTA..... | 48 |
| CONCLUSIONES..... | 68 |
| RECOMENDACIONES..... | 69 |
| ANEXOS | 77 |

SÍNTESIS

La industria de la construcción naval artesanal enfrenta el desafío de adoptar materiales sostenibles que resistan las exigentes condiciones marinas, sin comprometer la seguridad ni la durabilidad de las embarcaciones. En este contexto, las fibras naturales representan una alternativa prometedora frente a materiales convencionales, por su disponibilidad, bajo impacto ambiental y potencial de refuerzo en compuestos. El objetivo de esta investigación es diseñar un protocolo experimental que permita evaluar el desempeño de fibras naturales empleadas en embarcaciones artesanales expuestas a entornos marinos. La metodología contempla una revisión bibliográfica exhaustiva, identificación de normas técnicas aplicables, selección de fibras candidatas, diseño y elaboración de probetas compuestas, así como la aplicación de ensayos mecánicos y de envejecimiento acelerado bajo condiciones de inmersión salina y exposición a rayos UV. Como resultados, se sistematizaron las principales propiedades físico-mecánicas de fibras vegetales con potencial estructural, se determinaron condiciones de exposición marina simulada y se seleccionaron ensayos estandarizados de tracción, flexión, impacto, absorción de humedad y envejecimiento acelerado. Se concluye que el protocolo propuesto constituye una herramienta técnica viable para validar científicamente el uso de fibras naturales, favoreciendo la innovación, la sostenibilidad y el fortalecimiento de la industria naval artesanal mediante el aprovechamiento de recursos renovables locales.

Palabras claves: Fibra, Embarcaciones, Ingeniería marina, Transporte marítimo.

ABSTRACT

The artisanal shipbuilding industry faces the challenge of adopting sustainable materials that withstand demanding marine conditions without compromising vessel safety or durability. In this context, natural fibers represent a promising alternative to conventional materials due to their availability, low environmental impact, and potential for reinforcement in composites. The objective of this research is to design an experimental protocol to evaluate the performance of natural fibers used in artisanal vessels exposed to marine environments. The methodology includes a comprehensive literature review, identification of applicable technical standards, selection of candidate fibers, design and production of composite specimens, and the application of mechanical and accelerated aging tests under salt immersion and UV exposure conditions. The expected result is the validation of a robust protocol that guides the incorporation of natural fibers in the artisanal shipbuilding industry, promoting more sustainable and competitive practices. As a result, the main physical and mechanical properties of plant fibers with structural potential were systematized, simulated marine exposure conditions were determined, and standardized tests for tensile strength, flexural strength, impact resistance, moisture absorption, and accelerated aging were selected. It is concluded that the proposed protocol constitutes a viable technical tool for scientifically validating the use of natural fibers, promoting innovation, sustainability, and the strengthening of the artisanal shipbuilding industry through the utilization of local renewable resources.

Keywords: Fibra, Embarcaciones, Ingeniería marina, Transporte marítimo.

INTRODUCCIÓN

La construcción de embarcaciones artesanales constituye una actividad histórica y esencial para muchas comunidades costeras, particularmente en regiones como la costa de Ecuador como es la ciudad de Manta, donde la pesca artesanal ha sido un sustento económico y cultural desde varias generaciones.

Tradicionalmente, estas embarcaciones se han fabricado utilizando madera y materiales sintéticos como la fibra de vidrio, sin embargo, la creciente conciencia ambiental y la necesidad de reducir costos están impulsando la búsqueda de alternativas más sostenibles y accesibles, siendo así que las fibras naturales, como la de plátano y la paja toquilla se perfilan como una opción prometedora que combina biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y ahorro económico.

No obstante, la incorporación de fibras naturales en aplicaciones estructurales navales enfrenta desafíos significativos, uno de ellos es que las fibras vegetales carecen de protocolos estandarizados que permitan una evaluación rigurosa de su comportamiento bajo condiciones marinas, puesto que factores como la absorción de agua salada, la degradación por radiación ultravioleta y las variaciones térmicas pueden comprometer su durabilidad y resistencia mecánica de dichas embarcaciones.

Según Figueroa (2025) la concienciación sobre la emergencia ambiental ha cobrado impulso en los últimos años en la industria de fabricación de compuestos, “con una nueva generación de materiales compuestos que minimizan su impacto ambiental perjudicial mediante procesos de fabricación más sostenibles y sustituyen los materiales sintéticos por materiales de origen biológico, permitiendo un uso más eficiente de los recursos energéticos” (p. 43).

En este contexto, los compuestos de fibras naturales se presentan como candidatos atractivos para sustituir o reducir el uso de fibras sintéticas en el refuerzo de polímeros en diversos sectores industriales, como el sector marítimo, donde el uso de compuestos se ha estudiado ampliamente en los últimos años.

Sin embargo, estudios a nivel global como la investigación de El Hawary et al. (2023) ya han demostrado que “la menor durabilidad de las fibras naturales también es un problema para aplicaciones a largo plazo en entornos como el mar, al igual que las propiedades mecánicas relevantes para la integridad estructural y la longevidad” (p. 56). Esto puede comprometer la resistencia a la tracción y a la flexión, la rigidez y la resistencia al impacto.

En cualquier caso, la incorporación de fibras naturales en la fabricación de embarcaciones artesanales representa una alternativa prometedora frente al uso tradicional de materiales sintéticos, no solo por su menor impacto ambiental, sino también por su potencial para fomentar procesos productivos sostenibles y accesibles, no obstante, su aplicación eficiente y segura exige el desarrollo de protocolos experimentales rigurosos que permitan evaluar de manera precisa su resistencia, durabilidad y comportamiento en entornos marinos reales.

Por tanto, esta investigación se propone cubrir esa brecha mediante el diseño y validación de un protocolo experimental técnico destinado a evaluar el desempeño de fibras naturales en embarcaciones artesanales sometidas a condiciones marinas reales o simuladas.

Justificación

La incorporación de fibras naturales, como la de plátano y la paja toquilla, en la construcción de embarcaciones artesanales representa una alternativa sostenible y económicamente viable frente a materiales sintéticos tradicionales, como la fibra de vidrio, ya que al ser de origen local, no solo contribuyen a la reducción de costos de producción, sino que también minimizan el impacto ambiental asociado a la actividad naval, sin embargo, su uso aún carece de una validación técnica que respalde su comportamiento estructural y funcional bajo las condiciones exigentes del ambiente marino.

En este contexto, la presente investigación se justifica en la necesidad de desarrollar un protocolo experimental que permita evaluar de manera rigurosa la resistencia y durabilidad de estas fibras, fomentando la innovación en los procesos constructivos, promoviendo prácticas más sostenibles y fortaleciendo la competitividad del sector pesquero artesanal de la provincia de Manabí.

Problema de Investigación

El problema de investigación radica en la ausencia de protocolos experimentales estandarizados que permitan validar técnicamente el uso de fibras naturales en la fabricación de embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas, dicha carencia limita su aceptación dentro de la industria naval, ya que factores ambientales como la exposición continua al agua salada, la radiación ultravioleta y las fluctuaciones térmicas afectan significativamente la durabilidad y el desempeño mecánico de los materiales compuestos.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar una metodología rigurosa, reproducible y científicamente fundamentada que permita evaluar con fiabilidad la resistencia estructural y la estabilidad de estos materiales bajo condiciones reales o controladas que simulen el entorno marino.

Objeto de la Investigación

El objetivo de esta investigación es establecer un protocolo experimental para evaluar el desempeño técnico de fibras naturales empleadas en embarcaciones artesanales, considerando variables críticas como resistencia mecánica, durabilidad y comportamiento frente a condiciones marinas.

Para ello, se diseñarán y aplicarán procedimientos de ensayo que permitan determinar la capacidad de estas fibras para soportar las exigencias físicas y ambientales propias del entorno marino a lo largo del tiempo, garantizando la seguridad estructural y la eficiencia operativa de las embarcaciones.

Campo de la Investigación

El presente estudio se centrará en astilleros artesanales, centros de investigación en materiales compuestos y laboratorios especializados en pruebas mecánicas y de envejecimiento acelerado, los cuales constituyen el entorno idóneo para desarrollar, implementar y validar un protocolo experimental que refleje las condiciones reales de exposición de las embarcaciones fabricadas con estos materiales.

Asimismo, se fomentará la colaboración con comunidades pesqueras y pequeñas industrias de la costa ecuatoriana, donde la utilización de recursos locales, como las fibras vegetales, puede fortalecer procesos productivos más sostenibles, eficientes y económicamente viables.

Hipótesis

El diseño de un protocolo experimental estructurado bajo normas técnicas internacionales y criterios de exposición marina controlada permitirá establecer parámetros confiables y reproducibles para evaluar el desempeño físico-mecánico y la durabilidad de fibras naturales en aplicaciones de embarcaciones artesanales

Variables

- **Variable Independiente:** Protocolo experimental
- **Variable dependiente:** Fibras naturales en embarcaciones artesanales

Objetivo General

Diseñar un protocolo experimental para evaluar el uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas.

Tareas Específicas

- Realizar una revisión bibliográfica sistemática sobre las propiedades físico-mecánicas y comportamiento de fibras naturales expuestas a ambientes marinos.
- Identificar y seleccionar normas técnicas nacionales e internacionales aplicables a ensayos de materiales compuestos reforzados con fibras naturales.
- Diseñar el protocolo experimental para la evaluación de fibras naturales en embarcaciones artesanales.
- Redactar conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos, orientadas a futuras investigaciones y aplicaciones en la industria naval artesanal.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

El marco teórico del presente estudio tiene como propósito fundamentar científicamente el diseño de una propuesta de un protocolo experimental para evaluar el uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas.

En esta sección se abordan los conceptos esenciales sobre materiales compuestos, el comportamiento de las fibras naturales frente a ambientes salinos, los procesos de fabricación naval, así como los estudios previos que respaldan la viabilidad de alternativas sostenibles frente a materiales sintéticos como la fibra de vidrio.

Conceptos básicos de materiales compuestos

Definición de composites

Para entenderlo de manera fácil, los composites “son materiales diseñados en los que una fase refuerza a otra, generando estructuras ligeras y resistentes que pueden adaptarse a distintas aplicaciones industriales, desde la aeronáutica hasta la construcción naval” (Pérez, 2016, p. 4). El autor enfatiza la versatilidad y adaptabilidad de los composites en sectores que demandan alto rendimiento estructural, como en la industria naval, convirtiéndolos en materiales ideales para embarcaciones artesanales que requieren bajo peso, flotabilidad y resistencia a condiciones marinas adversas.

Por otra parte, Ortúzar (2019) manifiesta que es “un material compuesto es aquel que se forma mediante la combinación de dos o más materiales distintos una matriz y un refuerzo con el fin de obtener propiedades superiores a las de sus componentes individuales” (p. 13). Lo que resalta el principio fundamental de los materiales compuestos que es la unión de dos fases distintas para obtener un material con propiedades mejoradas.

En el caso de las embarcaciones artesanales, este concepto permite explorar la posibilidad de sustituir refuerzos sintéticos por fibras naturales, manteniendo la resistencia estructural requerida, promoviendo un equilibrio entre eficiencia técnica y responsabilidad ambiental.

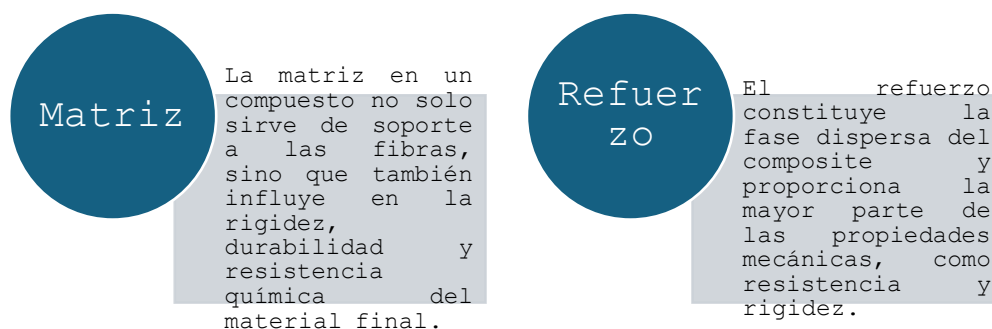
Componentes: matriz y refuerzo.

De acuerdo con Besednjak (2015) la matriz “es la fase continua del material compuesto, encargada de mantener unidas las fibras, protegerlas de daños ambientales y transferir los esfuerzos aplicados, mientras que el refuerzo actúa como el elemento resistente que soporta las cargas” (p. 56). Esta definición subraya el papel estructural y protector de la matriz dentro del composite y se recalca la función del refuerzo como el componente que asume las tensiones principales dentro de este material compuesto.

Por otra parte, Parga y Hernández (2016) emiten las siguientes definiciones que son presentadas en el siguiente gráfico:

Gráfico 1

Definición de matriz y refuerzo



Nota. Tomado de Materiales compuestos para embarcaciones deportivas (Parga & Hernández, 2016)

Como se observa, la matriz y el refuerzo constituyen los dos componentes esenciales de un material compuesto, cuya interacción determina sus propiedades mecánicas, químicas y de durabilidad, mientras la matriz actúa como el soporte que cohesiona y protege al refuerzo frente a agentes externos, este último aporta la resistencia y rigidez necesarias para soportar cargas estructurales.

En el contexto de la presente investigación, comprender la función de ambos elementos es fundamental para diseñar y evaluar nuevos materiales basados en fibras naturales, ya que la correcta combinación entre una matriz adecuada y un refuerzo vegetal

eficiente puede ofrecer una alternativa sostenible, resistente y adaptable a las condiciones marinas que enfrentan las embarcaciones artesanales.

Tipos de fibras: sintéticas vs naturales.

Para entender este tipo de fibras, hay que entender que son diferentes y sus usos también lo pueden ser, entendiendo primero que las fibras sintéticas “son materiales de refuerzo fabricados a partir de polímeros derivados del petróleo, como el vidrio, el carbono o la aramida, caracterizadas por su alta resistencia, durabilidad y estabilidad frente a agentes ambientales” (Suarez y Reyes, 2018, p. 45). Estas fibras sintéticas han dominado la industria naval durante décadas debido a su excelente comportamiento mecánico y resistencia frente a la humedad y la corrosión.

En particular, la fibra de vidrio es una fibra sintética por excelencia, siendo ampliamente utilizada en embarcaciones por su bajo peso y facilidad de moldeo, no obstante, su producción conlleva altos costos energéticos y un impacto ambiental considerable.

Por otra parte, las fibras naturales “son estructuras filamentosas obtenidas de fuentes vegetales o animales, compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que pueden emplearse como refuerzo en materiales compuestos por su bajo peso, abundancia y biodegradabilidad” (Betancourth, et al., 2023, p. 86). Esta definición destaca la composición orgánica y sostenible de las fibras naturales, como el coco, el lino o el yute, las cuales presentan un gran potencial como refuerzos alternativos en la fabricación de composites.

Considerando la investigación, el uso de estas fibras naturales en embarcaciones artesanales podría significar una transición hacia materiales más ecológicos y económicamente accesibles, reduciendo la dependencia de polímeros sintéticos, sin embargo, para hacer posible esto, es necesario evaluar experimentalmente su comportamiento bajo condiciones marinas, exposición a la salinidad, humedad y rayos UV, para garantizar su viabilidad estructural y funcional.

A continuación, se muestra la siguiente matriz, donde se identifica ambos tipos de fibras, haciendo una comparación que va desde su origen, hasta sus aplicaciones específicas para usarlo como recurso en construcción de embarcaciones.

Tabla 1

Matriz comparativa entre Fibras sintéticas y Fibras naturales

| Característica | Fibras sintéticas | Fibras naturales |
|--------------------------------------|--|---|
| Origen | Derivadas de polímeros industriales (vidrio, carbono, aramida, etc.) | Procedentes de fuentes vegetales o animales (coco, lino, yute, bambú, cáñamo, etc.) |
| Composición química | Basadas en compuestos petroquímicos no biodegradables | Compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina |
| Resistencia mecánica | Alta resistencia a la tracción, flexión e impacto | Moderada resistencia, variable según el tipo de fibra y tratamiento |
| Peso específico | Mayor densidad, aunque ligera respecto a metales | Menor densidad, lo que favorece estructuras más livianas |
| Durabilidad | Excelente resistencia a la humedad, rayos UV y agentes químicos | Sensibles a la humedad y a la degradación biológica si no son tratadas |
| Costo de producción | Elevado por el uso de procesos industriales y energía | Bajo costo por ser materiales renovables y abundantes |
| Impacto ambiental | Alta huella de carbono y difícil reciclaje | Biodegradables, renovables y con menor huella ecológica |
| Disponibilidad local | Depende de la industria petroquímica | Frecuentemente disponibles en regiones rurales o costeras |
| Adherencia con la matriz | Alta compatibilidad con resinas sintéticas | Puede requerir tratamientos superficiales para mejorar la adhesión |
| Aplicaciones en embarcaciones | Muy utilizadas en cascos, cubiertas y estructuras de fibra de vidrio | En fase experimental y en desarrollo para embarcaciones sostenibles |
| Ventaja principal | Alto desempeño técnico y durabilidad | Sostenibilidad ambiental y bajo costo |
| Desventaja principal | Contaminación y difícil degradación | Menor resistencia y durabilidad frente a ambientes marinos extremos |

Fuente: Realizado por el autor Ante Ivcevic

En este caso, las fibras sintéticas ofrecen un rendimiento mecánico superior y alta resistencia a las condiciones marinas, pero su fabricación implica un considerable impacto ambiental, a diferencia de las fibras naturales que presentan una opción más sostenible y económica, aunque requieran de investigación adicional para mejorar su durabilidad y compatibilidad con matrices poliméricas.

Por tanto, el diseño de un protocolo experimental como el propuesto en esta tesis es fundamental para determinar la viabilidad técnica de reemplazar parcialmente las fibras sintéticas por fibras naturales en la construcción de embarcaciones artesanales.

Fibras naturales y sus tipos

Según Menezes (2015) las fibras naturales “son materiales fibrosos obtenidos directamente de plantas, animales o minerales, que se caracterizan por su bajo peso, bajo costo, alta disponibilidad y propiedades ecológicas que las convierten en alternativas sostenibles frente a las fibras sintéticas” (p. 21). Su origen renovable y su bajo impacto ambiental las posicionan como una alternativa viable frente a las fibras sintéticas empleadas tradicionalmente en la construcción naval.

En el contexto de las embarcaciones artesanales, estas fibras naturales como la de coco, lino, sisal o yute, no solo ofrecen una opción más económica y accesible para comunidades costeras, sino que también contribuyen a reducir la contaminación marina y la dependencia de materiales derivados del petróleo. No obstante, su aplicación requiere estudios experimentales que evalúen su resistencia, durabilidad y comportamiento en ambientes salinos, aspectos esenciales que motivan el desarrollo del protocolo experimental propuesto en esta investigación.

Tipos de fibras naturales utilizadas en ingeniería y construcción naval

Las fibras naturales extraídas de plantas o frutos han adquirido un creciente interés en la ingeniería y la construcción naval debido a su carácter renovable, bajo impacto ambiental, disponibilidad en regiones costeras y además presentan propiedades mecánicas que las hacen potencialmente aptas como refuerzo en materiales compuestos destinados a embarcaciones.

A continuación, se presenta una matriz comparativa de los principales tipos de fibras naturales utilizadas en la industria, destacando sus propiedades físicas, ventajas, limitaciones y posibles aplicaciones en embarcaciones artesanales.

Tabla 2

Tipos de fibras naturales utilizadas en la construcción de embarcaciones

| Tipo de fibra | Resistencia a la tracción (MPa) | Ventajas principales | Limitaciones o desventajas | Aplicaciones potenciales en embarcaciones |
|----------------------|--|--|---|---|
| Lino (Flax) | 500 – 900 | Alta resistencia y rigidez; buena adherencia con resinas | Sensible a la humedad y UV | Refuerzo en cascos, cubiertas y paneles estructurales |
| Sisal | 400 – 700 | Buena absorción de impactos, tenacidad | Se degrada fácilmente en ambientes húmedos | Revestimientos interiores, refuerzo secundario |
| Coco (Coir) | 120 – 250 | Alta resistencia a la salinidad y flotabilidad natural | Baja rigidez y resistencia mecánica | Paneles flotantes, cascos rellenos, ligeros |
| Yute | 300 – 600 | Abundante, económico, biodegradable | Absorbe mucha humedad; resistencia con el tiempo | Revestimientos, pierde elementos decorativos o no estructurales |
| Bambú | 500 – 1000 | Alta relación resistencia/peso; sostenible | Propenso a ataque biológico; necesita tratamiento | Refuerzo en estructuras externas o pisos de cubierta |
| Cáñamo (Hemp) | 550 – 900 | Excelente rigidez, buena adherencia con resinas | Limitada disponibilidad industrial | Refuerzos estructurales, cascos ecológicos |
| Kenaf | 295 – 930 | Buena absorción de energía, bajo costo | Degradación por humedad | Laminados híbridos con otras fibras |
| Piña (Piña o PALF) | 400 – 750 | Alta resistencia específica, biodegradable | Difícil procesamiento y uniformidad | Laminados y compuestos para cascos ligeros |
| Plátano (Banana) | 500 – 600 | Renovable y de fácil obtención | Sensible a la humedad y degradación | Refuerzo en estructuras interiores o mixtas |

Nota. El MPa significa que es la fuerza máxima que un material puede soportar al ser estirado antes de romperse (Si es igual o menor a 100 significa que es de baja resistencia, de 100 a 500 tiene una resistencia media, si es mayor a 500 Mpa tiene una alta resistencia).

Considerando esto, las fibras naturales presentan una gran diversidad en propiedades mecánicas y comportamiento frente a condiciones marinas, pues fibras como el lino,

cáñamo y bambú ofrecen una resistencia comparable a las sintéticas, mientras que el coco y el sisal destacan por su flotabilidad y disponibilidad en zonas costeras, pero también se observa que su principal desafío radica en la degradación causada por la humedad y el ambiente salino, lo que requiere tratamientos o combinaciones con resinas adecuadas.

Esta información refuerza la importancia del diseño de un protocolo experimental que permita determinar cuáles de estas fibras son más aptas para su aplicación en embarcaciones artesanales sostenibles.

Propiedades mecánicas de las fibras naturales.

De acuerdo con Gómez et al. (2024) “las propiedades mecánicas de las fibras naturales dependen significativamente de factores como el tipo de planta, las condiciones de crecimiento, la extracción y el tratamiento superficial, los cuales influyen en su resistencia a la tracción y módulo elástico” (p. 54). Lo que resalta la variabilidad natural de las propiedades mecánicas de estas fibras e implica que no todas las fibras naturales se comportan igual bajo esfuerzos, lo que hace necesario establecer protocolos experimentales estandarizados para evaluar su desempeño real.

Por otra parte, García (2024) destaca que “aunque las fibras naturales poseen menor resistencia que las sintéticas, su módulo de elasticidad es suficiente para aplicaciones semiestructurales, además de ofrecer ventajas ambientales y de bajo costo” (p. 72).

Aquí se entiende que en resistencia las fibras sintéticas pueden ser mejor, pero las fibras naturales presentan un desempeño mecánico adecuado para estructuras que no soportan cargas extremas, como cascos o cubiertas de embarcaciones artesanales, ya que su módulo de elasticidad les permite soportar deformaciones moderadas sin fracturarse, lo cual es beneficioso para embarcaciones ligeras y de bajo costo, sumado a su carácter biodegradable y renovable refuerza su valor dentro de un enfoque de ingeniería sostenible.

Ventajas y desventajas frente a fibras sintéticas

En el ámbito de la ingeniería naval y la fabricación de materiales compuestos, la elección del tipo de fibra ya sea natural o sintética va a determinar en gran medida el comportamiento mecánico, la durabilidad y la sostenibilidad del producto final.

Mientras que las fibras sintéticas como la de vidrio, carbono o aramida han sido ampliamente utilizadas por su alta resistencia y estabilidad, las fibras naturales emergen

como una alternativa ecológica que busca reducir el impacto ambiental y los costos de producción.

Tabla 3

Ventajas y Desventajas de las fibras naturales frente a fibras sintéticas

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| Son renovables, biodegradables y de bajo impacto ambiental | Presenta variabilidad en sus propiedades físicas debido a factores como el clima, el tipo de cultivo y el tratamiento de la fibra, dificultando la estandarización en procesos industriales |
| Su bajo peso y buena relación resistencia/densidad contribuyen a estructuras más ligeras y eficientes energéticamente. | Baja resistencia a la humedad y a la degradación biológica, ya que absorben agua fácilmente, lo que puede afectar su integridad estructural. |
| Su costo de producción es menor, debido a la disponibilidad local y a los procesos de fabricación menos intensivos en energía | Tienen menor resistencia a la tracción y al impacto en comparación con las fibras de vidrio, carbono o aramida, lo que reduce su rendimiento en embarcaciones sometidas a grandes esfuerzos |
| Ofrece un excelente aislamiento acústico y térmico, | Son susceptibles al hinchamiento, deformación y pérdida de rigidez al absorber agua. |
| Promueven el desarrollo local y el aprovechamiento de recursos naturales regionales. | Son menos resistentes a altas temperaturas y a la radiación UV sin tratamientos protectores. |
| Genera un menor riesgo para la salud durante su manipulación, a diferencia de las fibras sintéticas que pueden liberar partículas irritantes o tóxicas. | Su compatibilidad limitada con algunas resinas sintéticas puede requerir tratamientos superficiales o agentes de acoplamiento para mejorar la adhesión matriz-refuerzo |

Nota. Tomado del artículo científico: Natural vs Sinteticé Febres: What's More Sustainable?(Carter, 2024)

Como se logra observar, las fibras naturales representan una alternativa prometedora frente a las fibras sintéticas en la fabricación de embarcaciones artesanales, especialmente por su carácter ecológico, renovable y económicamente accesible, sin embargo, su aplicación en ambientes marinos exige un análisis técnico riguroso, ya que su baja resistencia a la humedad y su variabilidad estructural pueden comprometer la durabilidad y el desempeño del material compuesto.

Comportamiento de fibras naturales en agua salada: degradación, hinchazón, pérdida de resistencia

La degradación de fibras naturales expuestas a ambientes marinos en particular al agua salada es un proceso multifactorial que involucra varios factores entre esos los físicos, químicos y biológicos.

Conforme a lo que indica Collie et al. (2024), las fibras vegetales “están compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, compuestos que pueden ser atacados por microorganismos presentes en el agua de mar y por procesos hidrolíticos, los cuales favorecen reacciones químicas que deterioran las fibras y reducen su integridad mecánica” (p. 234). Lo que refuerza lo mencionado por otros estudios que han demostrado que el contacto prolongado con agua salada puede provocar pérdidas significativas de masa y rigidez en fibras como lino, sisal y coco, afectando su capacidad de refuerzo en materiales compuestos.

Otro de los grandes problemas que provoca la exposición continua al agua salada es el hinchamiento de las fibras debido a la absorción de humedad y sales, Lara (2018) confirma que “el hinchamiento compromete la adhesión fibra-matriz, provocando microfracturas y debilitamiento de la unión, lo que reduce notablemente la capacidad de transmisión de cargas en materiales compuestos” (p. 45). En embarcaciones artesanales, esto puede traducirse en una disminución de la rigidez estructural y en la aparición de fallas prematuras.

Asimismo, experimentos realizados en fibras como el lino y el cáñamo han reportado reducciones significativas en la resistencia a la tracción y el módulo elástico tras períodos de inmersión prolongados, lo que compromete la funcionalidad del composite, particularmente en aplicaciones estructurales marinas donde las cargas dinámicas y el impacto son frecuentes (Siddiqui, Hutton, & Dickens, 2022). Por dicha razón, evaluar la resistencia a largo plazo es un paso crítico para validar la aplicación de fibras naturales en cascos o componentes de embarcaciones.

Estos efectos constituyen un reto importante para su aplicación en embarcaciones artesanales, pero también una oportunidad para innovar en el tratamiento y diseño de composites.

Sin embargo, investigaciones como García et al. (2024) y Gómez (2024) sostiene que investigaciones enfocadas en métodos de protección como tratamientos superficiales, uso de matrices impermeabilizantes y combinaciones híbridas pueden potenciar las

propiedades de las fibras naturales, extendiendo su vida útil y asegurando un rendimiento estructural adecuado.

En conclusión, se entiende que poder utilizar las fibras naturales para la construcción de embarcaciones es un tema que le faltan muchas mejoras en tecnología para contrarrestar las debilidades que se tiene, pero a largo plazo tendrá un mayor impacto no solo para las empresas pesqueras sino también para un mundo con menos residuos y con mayor conciencia medioambiental,

Normativas y estándares técnicos aplicables en construcción naval

En el ámbito de la construcción naval, la aplicación de normativas y estándares técnicos es fundamental para garantizar la seguridad, calidad y durabilidad de las embarcaciones, así como para asegurar la compatibilidad de los materiales y procesos empleados.

Estas normas establecen criterios de diseño, fabricación, prueba y certificación que permiten evaluar el comportamiento estructural y ambiental de los componentes utilizados, incluidos los materiales compuestos reforzados con fibras. A continuación, se detallan las principales normativas y estándares técnicos aplicables en la construcción naval.

Normas ISO

La norma ISO 12215 establece los requisitos técnicos para el diseño estructural, los cálculos de resistencia y los métodos de construcción de cascos en embarcaciones pequeñas, tanto de recreo como artesanales, se definen los criterios mínimos de seguridad, rigidez y flotabilidad que deben cumplir los materiales utilizados en la fabricación del casco, considerando aspectos como la presión hidrostática, la carga dinámica y la distribución de esfuerzos en diferentes secciones del buque.

Esta ISO 12215 sirve como una guía técnica para establecer los parámetros de resistencia y rigidez que deberán alcanzarse con materiales alternativos, lo que proporciona una base comparativa frente a los estándares de cascos elaborados con fibra de vidrio, permitiendo determinar si las fibras naturales pueden cumplir con los criterios de seguridad y desempeño exigidos en estructuras expuestas a condiciones marinas.

Por otra parte, la norma ISO 14125 define los procedimientos estandarizados para medir las propiedades de flexión en materiales plásticos reforzados con fibras, en esta ISO se determina cómo se deben realizar los ensayos de flexión para obtener datos sobre

el módulo de elasticidad, la resistencia máxima y el comportamiento del material ante cargas de deformación.

Esta norma es ampliamente utilizada en la caracterización de composites empleados en la industria naval, automotriz y aeroespacial, garantizando resultados comparables y reproducibles entre diferentes materiales y métodos de fabricación. Mediante esta ISO se permitirá evaluar experimentalmente el comportamiento mecánico de las fibras naturales al ser combinadas con resinas en condiciones similares a las de uso marítimo y al aplicar los lineamientos de la ISO 14125 en los ensayos de flexión permitirá establecer comparaciones objetivas entre los materiales naturales y los sintéticos, validando la eficiencia estructural de las fibras naturales frente a las solicitaciones típicas de un casco artesanal.

La ISO 12216 especifica los métodos y criterios de aceptación para embarcaciones pequeñas fabricadas con materiales compuestos reforzados con fibras, además que regula las pruebas de estanqueidad, resistencia al impacto, rigidez del casco y durabilidad de los componentes estructurales bajo condiciones operativas y establece procedimientos para verificar la calidad del proceso de laminado y la adecuada unión entre capas de refuerzo y matrices, garantizando que las embarcaciones sean seguras, resistentes al ambiente marino y cumplan con las exigencias de navegación establecidas internacionalmente.

Esta ISO 12216 es directamente aplicable a este tema, ya que sus pautas pueden emplearse como referencia para evaluar la calidad y desempeño de prototipos elaborados con fibras naturales y al seguir sus criterios de prueba y aceptación, se podrá verificar si los materiales desarrollados alcanzan niveles aceptables de impermeabilidad, rigidez y resistencia frente al agua salada, determinando la viabilidad de integrar las fibras naturales en la construcción de embarcaciones artesanales que operen de forma segura en ambientes marinos.

Normas de la Organización Internacional de Normalización para Materiales Compuestos

La norma ISO 11403-1 establece los procedimientos para recopilar y presentar datos puntuales de propiedades mecánicas, térmicas y físicas de materiales plásticos y compuestos reforzados con fibras, teniendo como propósito garantizar la uniformidad en la recolección de datos experimentales, de manera que los resultados obtenidos por diferentes laboratorios sean comparables.

Esta norma define las condiciones estándar de ensayo, el acondicionamiento previo de las muestras y los métodos de cálculo, lo que permite evaluar el rendimiento general del material bajo parámetros controlados y reproducibles.

Por otra parte, la ISO 11403-2 complementa al centrarse en la obtención de datos dependientes de variables, como la temperatura, la velocidad de deformación o la humedad, logrando establecer métodos para evaluar cómo cambian las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales compuestos bajo diferentes condiciones de ensayo.

Este enfoque permite obtener una visión más completa del comportamiento del material, especialmente útil en aplicaciones donde los componentes están expuestos a ambientes variables o agresivos, como los marinos.

Por último, la norma ISO 11403-3 aborda específicamente la evaluación del impacto de factores ambientales sobre las propiedades de los plásticos reforzados, como la exposición al agua, la radiación ultravioleta, los agentes químicos o la temperatura y establece procedimientos para medir la degradación del material bajo dichas condiciones y cuantificar los cambios en su resistencia, rigidez y durabilidad.

Estas normas de la serie ISO 11403 son de gran relevancia para el diseño experimental de esta investigación, ya que proporcionan el marco metodológico necesario para caracterizar el comportamiento de los materiales compuestos elaborados con fibras naturales frente a condiciones ambientales adversas, como la exposición al agua salada.

Además, su aplicación permite obtener datos precisos y comparables sobre la resistencia, durabilidad y variación de las propiedades mecánicas de los composites naturales, estableciendo así una base técnica sólida para evaluar su viabilidad en la construcción de embarcaciones artesanales.

Tipos de ensayo que sea realizado sobre materiales compuestos en embarcaciones artesanales

Entre las diferentes pruebas experimentales que se han realizado sobre materiales compuestos para aplicaciones navales (incluyendo casos en embarcaciones artesanales o pequeñas) se tienen las siguientes:

1. Ensayos de tracción y flexión (propiedades mecánicas básicas)

Este tipo de ensayo se encarga de medir la resistencia a la tracción, módulo elástico, resistencia a flexión y deformación antes de falla, ya se han hecho numerosos estudios

experimentales en Europa y universidades de investigación naval que han medido estas propiedades en composites reforzados con lino, cáñamo y otras fibras naturales para evaluar su idoneidad en cascos y piezas estructurales.

2. Ensayos de absorción de agua y envejecimiento por inmersión / ciclos inmersión-seco (durabilidad marina)

Este ensayo se encarga de medir la capacidad de absorción de humedad, hinchamiento, pérdida de masa y deterioro mecánico tras inmersión en agua marina (salina) o ciclos simulados, donde se han realizado trabajos sobre coir (fibra de coco) y otras fibras en Asia en países como la India y en laboratorios europeos han usado protocolos de inmersión acelerada y pruebas ambientales para cuantificar la degradación.

3. Pruebas de impacto y “slamming” (resistencia a impactos típicos en cascos pequeños)

Este tipo de pruebas miden específicamente el daño interlaminar, la energía absorbida, aparición de fisuras y pérdida de rigidez ante impactos de baja/alta energía, es decir, simulan golpes en la obra viva o slamming contra olas.

Se han realizado estos estudios en varias instituciones y grupos universitarios en Europa y también en América Latina se han reproducido impactos tipo slamming evaluando laminados compuestos

4. Ensayos de paneles tipo sándwich

Miden el comportamiento del núcleo frente a esfuerzos perpendiculares (tensión y compresión plana), relevante para paneles de cubierta y cascos sándwich, comparando paneles con núcleo de fibra de coco y núcleos sintéticos (ensayos de tensión y compresión plana) realizados en estudios de ingeniería de materiales (Asia/Europa).

5. Ensayos de fatiga y ciclos de carga (resistencia a cargas repetidas)

En este tipo de ensayos se mide la vida a fatiga bajo cargas cíclicas, pérdida progresiva de rigidez y aparición de grietas por fatiga, se han realizado en laboratorios de investigación naval y universidades en Europa (países con industria de yates sostenibles) aplican ensayos de fatiga para validar laminados naturales en aplicaciones marinas.

6. Ensayos acelerados ambientales (UV + condensación / niebla salina)

Esta prueba mide el efecto combinado de radiación ultravioleta, salinidad y condensación sobre color, superficie y propiedades mecánicas de las embarcaciones al navegar por agua salada.

Este tipo de pruebas se han realizado en institutos europeos y centros de investigación marina de diferentes países, para lo cual, se realizan cámaras de envejecimiento (UV/condensación) y niebla salina para biocomposites marinos y otros estudios comparativos incluyen resinas de base vegetal y fibras naturales.

7. Ensayos de manufactura y calidad del laminado (infusión, hand-layup, porosidad, adhesión fibra–matriz)

Este tipo de ensayo mide el control de calidad del proceso como porosidad, contenido en fibra, adhesión, comparación de métodos (infusión al vacío vs. laminado manual) y su efecto en propiedades finales.

Entre las investigaciones realizadas, se hayan estudios hechos por astilleros y universidades en Europa (Alemania, Países Bajos, Polonia) y centros técnicos que trabajan en integrar flax/biocomposites en cascos.

8. Evaluaciones de ciclo de vida (LCA) y pruebas de rendimiento operativo (consumo energético, resistencia al avance)

Se mide el impacto ambiental (huella de carbono), eficiencia energética durante uso, evaluando el consumo de combustible y hacen la comparación entre cascos de fibra sintética vs natural.

Estos estudios y pruebas de rendimiento se han publicado en Europa en proyectos con cascos de lino vs fibra de vidrio y en centros de investigación marina que modelan uso real a lo largo de la vida útil.

Antecedentes Investigativos

En la actualidad, la búsqueda de materiales alternativos para la construcción de embarcaciones ha generado un creciente interés en el uso de fibras naturales como refuerzos en composites, debido a su potencial para reducir el impacto ambiental, disminuir costos y mejorar ciertas propiedades mecánicas.

Diversos estudios han abordado la comparación entre fibras naturales y sintéticas, evaluando su desempeño desde perspectivas técnicas, económicas y medioambientales, así como su viabilidad para aplicaciones marítimas. A continuación, se presentan antecedentes relevantes que aportan fundamentos teóricos y prácticos para el desarrollo de un protocolo experimental orientado al uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas.

La investigación de López et al. (2025) propusieron comparar desde una perspectiva de análisis de ciclo de vida, el impacto ambiental de un casco de embarcación recreativa fabricado con fibra de vidrio, frente a un casco equivalente hecho con fibra de lino reforzada con resina bio-epóxica, evaluando las etapas de obtención de materias primas, fabricación, uso y disposición final. Para ello, partieron del modelo del casco de referencia “Silennis S020”, adaptando los espesores de cubierta según las propiedades mecánicas de ambos materiales, el casco de GFRP se diseñó con un espesor de 10 mm (con densidad de 1398 kg/m³) resultando en un peso aproximado de 433,4 kg, mientras que el casco de fibra de lino se calculó con un espesor menor de 7 mm (densidad 1230 kg/m³) para obtener un peso de 266,9 kg, aprovechando que las propiedades mecánicas del compuesto de lino permitían esa reducción. Con esos modelos, simularon el consumo energético durante la fase de uso (suponiendo 500 h/año durante 25 años de vida útil y estimaron también la resistencia al avance (drag) y potencia efectiva en régimen de crucero, encontrando que el casco de lino implicaba un 11 % menos de potencia efectiva requerida, lo que se traduce en menor consumo energético durante la vida útil. En cuanto al impacto ambiental total, los resultados mostraron que el uso de fibra de lino reduce la dependencia de fuentes no renovables y disminuye las emisiones y cargas contaminantes en muchas categorías frente a la fibra de vidrio; sin embargo, señalaron que la fase de fabricación y los insumos iniciales (resinas, energía, materias primas) siguen siendo críticos, y que la disposición final (obstáculos para reciclaje, destino a vertedero) es un reto para ambos casos.

Otro estudio importante fue el de Awang (2018) donde el autor buscaba evaluar si la fibra de coco, sin tratamiento químico, puede servir como núcleo alternativo en paneles tipo sándwich para construcción de cascos de embarcaciones de fibra de vidrio, comparando sus propiedades de unión mecánica frente a núcleos sintéticos comunes. Para ello, construyeron tres tipos de paneles de prueba con núcleo de 10 mm de fibra de coco, espuma 3D core y PVC con ranuras, utilizando el método de infusión de resina para fabricar los paneles con buena calidad. Luego aplicaron dos ensayos mecánicos clave que fueron la tracción perpendicular al plano del panel y compresión perpendicular al plano, comparando los valores obtenidos entre los diferentes tipos de núcleo. Los resultados mostraron que el panel con núcleo de fibra de coco presentó una resistencia a la tracción plana de 3,005 MPa, ligeramente superior a los 2,963 MPa del núcleo de PVC y muy superior al núcleo de espuma 3D (1,264 MPa). En compresión plana, la fibra de coco alcanzó 29,66 MPa, frente a los modestos 2,58 MPa del núcleo de PVC y 4,68 MPa de la espuma 3D. Con dichos resultados se concluye que la fibra de coco brinda buenas propiedades de unión mecánica, especialmente bajo carga compresiva, comparables o superiores a núcleos sintéticos, además que con estudios más profundos podrían desarrollar la tecnología suficiente para utilizar la fibra de coco como principal elemento para la construcción de las embarcaciones marítimas.

Por otro lado, El Hawary et al. (2023) en su artículo “An Overview of Natural Fiber Composites for Marine Applications”, el cual tiene como propósito brindar una visión integral sobre el uso de compuestos de fibras naturales en aplicaciones marinas, evaluando sus propiedades mecánicas, durabilidad, procesos de fabricación y ventajas medioambientales frente a los compuestos tradicionales reforzados con fibras sintéticas. Para esto, los autores realizaron una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica disponible, analizando estudios previos sobre fibras naturales como lino, cáñamo, sisal, coco y yute, y su integración con matrices poliméricas en la construcción de embarcaciones, donde se discutieron los criterios de selección de fibras y matrices, los tratamientos necesarios para mejorar la adherencia y las propiedades mecánicas de los compuestos, así como los procesos de fabricación más comunes en la industria marina. Como resultados principales, se identificaron que las fibras naturales como el lino, el cáñamo y el coco son las más prometedoras para aplicaciones marinas debido a su alta resistencia específica, disponibilidad y coste relativamente bajo, así como también, que los tratamientos químicos y térmicos son esenciales para mejorar la adherencia entre la fibra y la matriz polimérica, reduciendo la absorción de agua y aumentando la durabilidad

del compuesto en ambientes marinos. Por otra parte, se destacó el uso de la resina epóxica y poliésteres reforzados con fibras naturales, señalando que este tipo de resinas ofrecen mejores propiedades mecánicas y resistencia a la humedad para fortalecer estas fibras. Por último, se concluyó que los compuestos de fibras naturales ofrecen una alternativa sostenible a los materiales tradicionales, con menor impacto ambiental y costes de producción reducidos, especialmente en regiones donde estas fibras son abundantes y de bajo coste.

Por otro lado, el estudio de Gamarra y Urcia (2022) que tiene el objetivo de diseñar un catamarán con proa invertida de 6,5 metros de eslora que pueda ofrecer un servicio marítimo eficiente en la región de Lambayeque, ciudad de Perú, donde este diseño en particular busca mejorar características como estabilidad, resistencia al avance (menor resistencia hidrodinámica) y optimizar el consumo de combustible, adaptándose a las condiciones costeras locales. El diseño se justifica frente a las embarcaciones tradicionales que son monocasco y carecen de normativas de diseño, con menor estabilidad, mayor consumo de combustible, mayor resistencia al avance, y su construcción completa es principalmente en madera, lo que genera desventajas técnicas, por eso se suma a la construcción de vidrio, lo que le daría ligereza y resistencia mecánica adecuada. El estudio sostiene que, aunque la fibra de vidrio es resistente, no es muy tenaz y tiende a romperse o fisurarse sin mucha deformación previa y en zonas sometidas a impactos o vibraciones como fondo o bordes de embarcaciones artesanales puede aparecer delaminación o micro fisuras, sumado a que este tipo de material no es biodegradable ni reciclable fácilmente, por lo que no puede fundirse ni triturarse fácilmente para reutilizarse y muchas embarcaciones viejas suelen terminar enterrados o abandonados, generando residuos que duran siglos. Sin embargo, en países costeros y dedicados a actividades comerciales utilizando embarcaciones marítimas, sigue siendo mejor económica y técnicamente el uso de este material debido a su habitualidad en las costas y también por su uso frecuente para la construcción de lanchas y embarcaciones artesanales; ya que no se cuentan con muchos estudios en América Latina sobre el uso de fibras naturales que puedan superar a la solidez de las fibras sintéticas. En conclusión, este diseño del catamarán con proa invertida logró mejorar la resistencia al avance frente a los diseños tradicionales, lo que implica que el casco tendrá menor resistencia hidrodinámica, y eso ayuda a reducir consumo de combustible.

Por otra parte, Karthik y Arunachalam (2020) en su estudio “Investigation on the tensile and flexural behavior of coconut inflorescence fiber reinforced unsaturated polyester resin composites”; teniendo como objetivo, evaluar el comportamiento mecánico de compuestos fabricados con fibra de inflorescencia de coco, como refuerzo en resina poliéster insaturada (UPR), enfocándose en sus propiedades de tracción y flexión para determinar su viabilidad en aplicaciones estructurales, como la construcción de embarcaciones. Como metodología, se prepararon compuestos con diferentes porcentajes de fibra de inflorescencia de coco (5%, 10%, 15%, 20% hasta el 30% en peso) incorporados en una matriz de resina poliéster insaturada., donde los paneles resultantes fueron sometidos a ensayos de tracción y flexión de acuerdo con normas ASTM estándar para evaluar sus propiedades mecánicas. Como resultados se encontró que los compuestos con mayor contenido de fibra mostraron una mejora en la resistencia a la tracción, alcanzando valores superiores a los de la resina pura, lo que indica una buena transferencia de carga entre la fibra y la matriz, además, se observó un aumento en la resistencia a la flexión con el incremento del contenido de fibra, sugiriendo que la fibra de inflorescencia de coco contribuye positivamente a la rigidez del compuesto. En conclusión, los resultados sugieren que la fibra de inflorescencia de coco es un refuerzo prometedor para resinas poliéster insaturadas, mejorando sus propiedades mecánicas y ofreciendo una alternativa sostenible para aplicaciones estructurales, como la construcción de embarcaciones.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque metodológico de carácter cualitativo y un tipo de investigación documental y propositiva, orientado al diseño de un protocolo experimental para la evaluación del uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas. La metodología aplicada permitió estructurar un protocolo técnicamente fundamentado y adaptable, que sirva como base para futuras investigaciones experimentales y posibles procesos de normalización en la industria naval artesanal.

3.1 Enfoque de la investigación

Enfoque cualitativo.

Conforme a Hernández-Sampieri et al. (2014), el enfoque cualitativo “se caracteriza por estudiar los fenómenos desde una perspectiva interpretativa, basándose en la revisión documental y el análisis de contextos, lo que resulta pertinente cuando se busca construir propuestas metodológicas que se fundamenten de manera teórica” (p. 334).

Esta investigación adoptó un enfoque cualitativo, debido a que su finalidad no es la medición directa de variables ni la comprobación empírica mediante experimentación, sino el análisis, interpretación y sistematización de información técnica y científica existente, orientada al diseño de un protocolo experimental

3.2 Tipo de investigación

Los siguientes tipos de investigación fueron utilizados conforme a la finalidad del estudio y fueron fundamentales para el resultado final que fue el diseño de un protocolo experimental con fibras naturales para la construcción de embarcaciones. A continuación se detalla cada uno de ellos.

Investigación aplicada

Conforme a Jiménez et al. (2022) en términos simples la investigación aplicada “se caracteriza por utilizar los conocimientos existentes para resolver problemas prácticos y específicos de la realidad, siendo su finalidad no solo el generar conocimiento teórico, sino que va más de eso y busca proponer una herramienta o solución metodológica” (p. 52).

En este sentido, para esta investigación el diseño del protocolo experimental es la solución o herramienta metodológica que responde a una necesidad técnica identificada en la industria naval artesanal, contribuyendo al uso de materiales sostenibles con respaldo científico.

Investigación documental

Según Arias (2023), este tipo de investigación “se basa en un análisis de documentos de todo tipo con el propósito de obtener datos que sean relevantes para poder explicar, describir o fundamentar un fenómeno de estudio” (p. 63).

Para este tipo de investigación resulta pertinente la aplicación técnica del estudio documental, ya que el diseño del protocolo experimental se construye a partir de la sistematización de evidencia científica y normativa previamente validada de artículos científicos, libros especializados, normas técnicas nacionales e internacionales y otros documentos técnicos relacionados con materiales compuestos y fibras naturales, de esta manera no se recurren a la experimentación directa.

Investigación propositiva

Este tipo de investigación “tiene como finalidad diseñar modelos, planes, programas o instrumentos que respondan a problemas y necesidades específicas del contexto estudiado mediante un proceso riguroso de análisis técnico” (Haro, et al., 2024).

En concordancia con ello, este proyecto de investigación propone un protocolo experimental estructurado y técnicamente fundamentado, destinado a orientar futuras evaluaciones del desempeño de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas, por dicha razón la investigación es propositiva.

3.3 Nivel o alcance de la investigación

Conforme este apartado, los alcances de investigación utilizados fueron el descriptivo y el propositivo.

Descriptivo

Conforme a Calle (2023) señala que la investigación descriptiva “busca especificar las características y perfiles importantes de personas, grupos, procesos u objetos que se

sometan a un análisis y está orientado a detallar los elementos esenciales de un fenómeno sin establecer relaciones causales ni aplicar intervenciones experimentales” (p. 181).

Este alcance descriptivo fue empleado para identificar y caracterizar las propiedades, condiciones y variables relevantes asociadas al uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales, a partir del análisis de literatura científica, normativa técnica y documentos especializados, lo que permitió describir los criterios técnicos, ambientales y mecánicos necesarios para la elaboración del protocolo experimental, sin manipular variables ni realizar pruebas de campo, lo cual es coherente con el objetivo de diseñar el protocolo.

Propositivo

Tomando en consideración lo que indica Ramos (2020) la investigación propositiva “se orienta a la elaboración de propuestas que buscan dar respuesta a un problema previamente diagnosticado y este no requiere necesariamente la aplicación o validación empírica inmediata, sino que se centra en su diseño lógico, técnico y contextualizado.” (p. 4).

Este alcance propositivo se justifica en esta investigación debido a que el objetivo principal es diseñar un protocolo experimental que sirva como guía para futuras evaluaciones del desempeño de fibras naturales en embarcaciones artesanales, que está técnicamente sustentada.

3.4 Diseño de la investigación

La investigación adopta un diseño no experimental, de tipo documental ya que no se manipulan variables ni se realizan pruebas físicas, sino que se sistematiza información existente para la elaboración del protocolo experimental.

Según Vizcaíno et al. (2023) “el investigador se limita a analizar información existente, describiendo y comprendiendo el fenómeno sin alterar su comportamiento, lo que resulta pertinente cuando el objetivo no es comprobar hipótesis mediante experimentación sino estructurar conocimiento a partir de fuentes validadas” (p. 111).

La elección de este diseño no experimental permite desarrollar una propuesta metodológica rigurosa sin alterar variables físicas o mecánicas, garantizando coherencia con los objetivos planteados.

3.5 Métodos de investigación

Entre los métodos de investigación se encuentran los siguientes:

Método analítico

Conforme a Isea (2024), el método analítico consiste en “descomponer un todo en sus partes para examinar de manera detallada cada uno de sus elementos y comprender su naturaleza, relaciones y funciones” (p. 34). Siendo este método es especialmente útil para examinar documentos técnicos, normas y estudios especializados, ya que posibilita identificar variables, criterios y procedimientos específicos de cada fuente.

Este método se utilizó en esta investigación para examinar de forma detallada estudios científicos y normativas técnicas relacionadas con fibras naturales, materiales compuestos y ensayos en ambientes marinos y mediante dicho análisis de las propiedades físico-mecánicas, metodologías de evaluación y condiciones de exposición, que permitió comprender los elementos técnicos necesarios para estructurar un protocolo experimental sólido y fundamentado.

Método sintético

Según Guevara et al., (2021) el método sintético “contempla una integración de los elementos analizados para construir una visión global y coherente del fenómeno estudiado” (p. 23). Esto resulta clave cuando se requiere consolidar conocimientos dispersos provenientes de diversas fuentes en una propuesta estructurada como es el presente caso.

Como se bien se mencionó, la aplicación de este método permitió unificar parámetros de ensayo, condiciones ambientales y procedimientos técnicos en un solo protocolo experimental coherente, claro y aplicable al contexto de las embarcaciones artesanales.

Método Inductivo

Este método inductivo es aquel que “parte de observaciones particulares para llegar a conclusiones generales o formulaciones teórica, siempre a partir de evidencia empírica o documental específica” (Albornoz, et al., 2023, p. 3).

Este método contribuyó en la construcción del protocolo experimental a partir del análisis de estudios previos, normativas y experiencias documentadas sobre el uso de fibras naturales en ambientes marinos.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnicas de investigación

Con respecto a las técnicas de investigación para el presente de estudio se utilizaron la revisión bibliográfica-documental, siendo claves para el desarrollo de la investigación.

Revisión bibliográfica-documental

Según Sandoval (2024), la revisión bibliográfica-documental es una técnica de investigación que consiste en “detectar, consultar y obtener la bibliografía y otros materiales que sean útiles para los propósitos del estudio” (p. 232). Cabe resaltar que dicha técnica no solo se limita a la recopilación de información, sino que implica un proceso sistemático de búsqueda, selección y análisis crítico de fuentes relevantes.

Esta revisión bibliográfica constituyó la técnica principal de recolección de información, ya que permite analizar estudios científicos relacionados con el comportamiento de fibras naturales en ambientes marinos, así como investigaciones previas sobre materiales compuestos aplicados a embarcaciones artesanales, dicha información fue útil para la estructuración del protocolo objetivo.

Instrumentos

Matriz de revisión bibliográfica

Conforme a Cisneros et al. (2022), señala que las fichas bibliográficas son instrumentos que “permiten registrar de manera organizada la información obtenida de las fuentes consultadas, facilitando su clasificación, análisis e interpretación” (p. 321). Al sistematizar la información extraída de libros, artículos científicos, normas técnicas y documentos especializados, las fichas permiten mantener un control riguroso de las fuentes y del contenido analizado.

Estos instrumentos facilitaron la identificación de propiedades físico-mecánicas relevantes, criterios de ensayo, parámetros ambientales y lineamientos técnicos utilizados en estudios previos, como también, comparar enfoques metodológicos y consolidar la información necesaria para el diseño estructurado del protocolo experimental propuesto.

3.7 Procedimiento metodológico

Este procedimiento metodológico de la presente investigación se desarrolló de manera secuencial y sistemática, con el propósito de diseñar un protocolo experimental técnicamente fundamentado para poder evaluar el uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas. A continuación los pasos a seguir:

a. Delimitación del objeto de estudio y alcance del protocolo

Como etapa inicial, se definió el objeto de estudio, centrado en el diseño de un protocolo experimental para evaluar fibras naturales aplicadas en embarcaciones artesanales, asimismo, se delimitó el alcance del protocolo, estableciendo que su finalidad es servir como guía metodológica para futuras evaluaciones técnicas, sin incluir la ejecución de ensayos experimentales, lo que permitió orientar el proceso investigativo y garantizar coherencia con los objetivos planteados.

b. Búsqueda y selección de fuentes documentales

En esta parte, se comenzó a realizar la búsqueda sistemática de literatura científica en bases de datos académicas reconocidas tales como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, entre otros, como también la consulta de las normas técnicas nacionales e internacionales vigentes relacionadas con materiales compuestos, ensayos mecánicos y exposición a ambientes marinos, con la finalidad de encontrar material relevante, actual, científico y aplicable al contexto.

c. Revisión bibliográfica sistemática

Las fuentes seleccionadas fueron sometidas a una revisión bibliográfica exhaustiva, enfocada en identificar propiedades físico-mecánicas de fibras naturales, metodologías de evaluación utilizadas en estudios previos y condiciones de exposición marina consideradas en investigaciones similares, con la finalidad de que aporte valor para el estudio actual.

d. Análisis documental de normas técnicas

Se llevó a cabo un análisis documental más a profundidad sobre normas técnicas nacionales e internacionales aplicables a ensayos de materiales compuestos reforzados con fibras naturales, tales como normas ISO y ASTM.

En esta etapa se examinaron procedimientos de ensayo, criterios de aceptación, condiciones ambientales y parámetros de medición, con el fin de identificar aquellos que pueden ser adaptados al diseño del protocolo experimental.

e. Sistematización de la información mediante matrices de análisis

Después de todos los pasos anteriores, la información obtenida de la revisión bibliográfica y del análisis normativo fue organizada y sistematizada utilizando matrices de análisis documental, esto permitió comparar propiedades, métodos de evaluación, tipos de fibras naturales y criterios técnicos, facilitando la integración de la información relevante y la toma de decisiones metodológicas, para adjuntar a la propuesta.

f. Definición de variables y parámetros de evaluación

A pesar de que no se realizara la comprobación experimental del protocolo, si se toma referencias técnicas importantes que son descritas en este trabajo, allí se identificaron las principales variables y parámetros técnicos que deben ser considerados en la evaluación de fibras naturales en ambientes marinos, tales como resistencia mecánica, absorción de humedad, durabilidad, degradación por radiación solar y comportamiento frente a la exposición salina, siendo una de las etapas más importantes para estructurar los componentes del protocolo experimental.

g. Diseño de los procedimientos experimentales

A partir del análisis de estudios previos y normas técnicas, ahora sí se diseñaron los procedimientos experimentales que conforman el protocolo, especificando tipos de ensayos, condiciones de exposición marina, tiempos de evaluación y otros criterios de medición que fueron identificados en la etapa anterior y aunque estos procedimientos no fueron ejecutados, se describieron de forma clara y detallada para asegurar su reproducibilidad en futuras investigaciones.

h. Estructuración del protocolo experimental

Se procedió a organizar los procedimientos definidos en un documento estructurado, estableciendo secciones claras que incluyen objetivos del protocolo, materiales a evaluar, métodos de ensayo, condiciones ambientales, criterios de evaluación y consideraciones de seguridad, lo que permitió consolidar el protocolo como una herramienta metodológica integral.

CAPÍTULO III.

ANÁLISIS DOCUMENTAL Y REVISIÓN TÉCNICA DEL USO DE FIBRAS NATURALES EN EMBARCACIONES ARTESANALES

El presente capítulo desarrolla el diagnóstico de la investigación a partir de una revisión bibliográfica sistemática y un análisis documental de estudios científicos, normas técnicas y documentos específicos relacionados con el uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas.

Dado el carácter documental y no experimental del estudio, este diagnóstico no se basa en trabajo de campo ni en la aplicación de instrumentos empíricos, sino en el análisis crítico y comparativo del marco de referencia o estado del arte y del marco normativo vigente, como bien se había mencionado anteriormente.

Mediante este análisis se identifican las propiedades físico-mecánicas relevantes de las fibras naturales, su comportamiento en ambientes marinos, así como los principales criterios y vacíos metodológicos existentes en los procesos de evaluación técnica.

3.1. Revisión bibliográfica sobre fibras naturales aplicadas a materiales compuestos

La etapa de revisión bibliográfica constituyó un elemento fundamental para comprender el estado actual del conocimiento sobre el uso de fibras naturales en materiales compuestos, especialmente en aplicaciones sometidas a condiciones ambientales exigentes.

En este apartado se analizan estudios científicos que abordan la clasificación, propiedades y aplicaciones de fibras naturales, con énfasis en aquellas utilizadas como refuerzo en matrices poliméricas, todo con el objetivo de identificar las principales ventajas, limitaciones y tendencias investigativas relacionadas con su empleabilidad en sectores industriales, incluyendo el ámbito naval artesanal.

Para entrar en contexto, las fibras naturales se definen como “materiales fibrosos de origen vegetal, animal o mineral, caracterizados por su renovabilidad, biodegradabilidad y bajo impacto ambiental en comparación con fibras sintéticas” (Rivera y Albán, 2021, p. 42).

Diversos autores como Luna y Lizarazo (2022) coinciden en que las fibras vegetales, como el yute, sisal, lino, gándul, fibra de plátano y paja toquilla, han despertado un creciente interés debido a su disponibilidad, bajo costo y aceptables propiedades mecánicas cuando se emplean como refuerzo en materiales compuestos.

En todo caso, estas fibras mencionan los autores que presentan una estructura lignocelulósica que les confiere resistencia mecánica y en varios casos la resistencia en aguas marinas, aunque también las hace susceptibles a la absorción de humedad.

Por otro lado, las fibras naturales se utilizan principalmente como refuerzo en matrices poliméricas, con el objetivo de mejorar propiedades como la resistencia a la tracción, flexión y rigidez específica. En investigaciones previas como las de (Ortega et al. 2022), señalan que, si bien las fibras naturales no alcanzan los niveles de resistencia de fibras sintéticas como la fibra de vidrio, su desempeño puede ser adecuado para aplicaciones estructurales de baja y media exigencia, siempre que se controle su procesamiento y se evalúe su comportamiento en condiciones específicas de uso.

Sin embargo, autores como (Mora et al., 2020) ya han analizado de manera minuciosa que las fibras vegetales tienen un alto potencial para la aplicación en entornos marinos, como la fibra de plátano, yute, sisal, entre otros, las cuales han demostrado propiedades mecánicas competitivas y una amplia disponibilidad en regiones tropicales, lo que la convierte en una alternativa atractiva para aplicaciones locales.

A pesar de las ventajas ambientales y socioeconómicas asociadas al uso de fibras naturales, la literatura también señala importantes limitaciones técnicas, una de las más relevantes se encuentran la alta absorción de humedad, la variabilidad de sus propiedades mecánicas y su susceptibilidad a la degradación por agentes ambientales como el agua salada y la radiación ultravioleta (Hernández, 2023). Estas condiciones resultan especialmente críticas en aplicaciones marinas, donde los materiales están expuestos de forma continua a ambientes agresivos.

La comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas evidencia que, aunque estas últimas presentan mayor estabilidad y resistencia, su impacto ambiental y costo de producción son considerablemente más elevados.

En este sentido, varios autores coinciden en que el uso de fibras naturales en aplicaciones navales artesanales puede ser viable, siempre que se establezcan métodos de evaluación técnica rigurosos que permitan garantizar su desempeño estructural y su seguridad a largo plazo.

3.2. Propiedades físico-mecánicas de fibras naturales en ambientes marinos

Las propiedades físico-mecánicas de las fibras naturales constituyen un factor determinante para evaluar su viabilidad como materiales de refuerzo en aplicaciones sometidas a condiciones ambientales severas, como los entornos marinos.

En estos ambientes, los materiales están expuestos de manera constante a la humedad, agua salina, variaciones térmicas y radiación solar, elementos que influyen directamente en su desempeño estructural y durabilidad.

Desde el punto de vista físico, una de las características más relevantes de las fibras naturales es su capacidad de absorción de humedad, atribuida a su composición lignocelulósica, donde estudios previos indican que la presencia de grupos hidroxilo en la celulosa favorece la absorción de agua, lo que provoca hinchamiento de la fibra, variaciones dimensionales y debilitamiento de la interfaz fibra-matriz en materiales compuestos (El Hawary, et al., 2023).

Los autores también enmarcan que, en ambientes marinos, esta condición se intensifica debido a la exposición prolongada al agua salada, lo que puede acelerar procesos de degradación física.

Otra propiedad física importante es la densidad, la cual resulta generalmente inferior a la de fibras sintéticas como la fibra de vidrio, “esta característica representa una ventaja significativa en aplicaciones navales, ya que contribuye a la reducción del peso total de las estructuras, favoreciendo la flotabilidad y eficiencia energética de las embarcaciones” (Shawkatul et al., 2025, p. 124). No obstante, la baja densidad también se asocia a una menor rigidez, lo que exige una evaluación cuidadosa de las cargas que el material puede soportar.

Por otro lado, Nicolalde et al. (2025) aporta que en cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción es uno de los parámetros más estudiados en fibras naturales, puesto que investigaciones realizadas en fibras como sisal, yute y fibra de plátano muestran que, aunque sus valores de resistencia son inferiores a los de fibras sintéticas, si son adecuados para aplicaciones estructurales de baja y media exigencia, pero en ambientes marinos, el tema de tracción hay que reforzarlo ya que debido a la absorción de la humedad y degradación natural de la fibra suele tener un mayor desgaste en temas de embarcaciones.

Respecto a la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad también se ven afectados por las condiciones marinas, la exposición continua al agua salada puede

provocar pérdida de rigidez y reducción de la capacidad del material para recuperar su forma original después de la aplicación de cargas (Huang, et al., 2025). Dicha pérdida de desempeño mecánico representa una limitación importante cuando se considera el uso de fibras naturales en componentes estructurales de embarcaciones artesanales.

Por otra parte, la durabilidad de las fibras naturales en ambientes marinos depende de factores como el tiempo de exposición, la salinidad del agua y la protección que ofrece la matriz polimérica (Anrango, 2020).

Otros estudios como el de Monsalve, et al. (2019) señalan que, “sin tratamientos previos o métodos de encapsulado adecuados, las fibras naturales presentan una vida útil reducida en comparación con materiales convencionales” (p. 67). Esta condición refuerza la necesidad de establecer criterios técnicos que permitan evaluar su comportamiento a largo plazo.

En general, la literatura coincide en que las fibras naturales poseen propiedades físico-mecánicas prometedoras desde una perspectiva ambiental y socioeconómica, pero su aplicación en ambientes marinos requiere una evaluación rigurosa de su desempeño frente a la humedad y la salinidad, así como la definición de parámetros técnicos que garanticen su seguridad y funcionalidad.

Por tanto, analizar estas propiedades constituye un elemento clave que sirva para la selección de fibras naturales y orientar el desarrollo de protocolos de evaluación específicos para su uso en embarcaciones artesanales.

3.3 Comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas en aplicaciones marinas

La comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas en aplicaciones marinas resulta importante para comprender las ventajas, limitaciones y condiciones de uso de cada tipo de material en entornos caracterizados por alta humedad, salinidad y exigencias mecánicas constantes.

Tradicionalmente, las fibras sintéticas como la fibra de vidrio, carbono y aramida han sido ampliamente utilizadas en la construcción naval debido a su elevada resistencia mecánica, durabilidad y estabilidad frente a condiciones ambientales adversas.

Conforme lo investigado, desde el punto de vista mecánico, las fibras sintéticas presentan mayores valores de resistencia a la tracción, flexión y módulo de elasticidad en comparación con las fibras naturales, dicha superioridad técnica ha permitido su uso en componentes estructurales críticos de embarcaciones, garantizando seguridad y desempeño a largo plazo (Sanjay et al., 2018). Sin embargo, el gran problema es que su

comportamiento óptimo suele estar asociado a un mayor consumo energético durante su fabricación y a un impacto ambiental significativo.

En contraste, las fibras naturales muestran propiedades mecánicas moderadas, que si bien son inferiores a las de las fibras sintéticas, pueden resultar suficientes para embarcaciones artesanales, además que resulta oportuno ya que su baja densidad contribuye a la reducción del peso total de las estructuras, lo que representa una ventaja funcional en términos de flotabilidad y eficiencia energética (Shahinur y Hasan, 2019).

En cuanto al comportamiento ambiental, se tiene una diferencia considerable, según Islam y Covington (2025), las fibras naturales presentan una ventaja significativa en términos de sostenibilidad, ya que son biodegradables, renovables y requieren menores recursos energéticos para su producción, a diferencia de las fibras sintéticas que derivan de procesos industriales complejos, utilizan materias primas no renovables y generan residuos de difícil degradación, lo que incrementa su huella ambiental, especialmente al final de su vida útil.

Sin embargo, como ya se mencionó antes, la principal limitación de las fibras naturales en aplicaciones marinas es su alta sensibilidad a la humedad y al agua salina, lo que puede provocar degradación acelerada, pérdida de propiedades mecánicas y fallas en la interfaz fibra-matriz, por el contrario, las fibras sintéticas presentan mayor estabilidad dimensional y resistencia a la corrosión, lo que les otorga una vida útil más prolongada en ambientes marinos.

Desde el punto de vista socioeconómico, las fibras naturales ofrecen oportunidades relevantes para el desarrollo local, especialmente en regiones con disponibilidad de recursos agrícolas, su utilización en embarcaciones artesanales puede generar encadenamientos productivos, reducción de costos, impacto medioambiental positivo y fortalecimiento de economías locales, aspectos que no siempre se consideran en la elección de materiales sintéticos.

En conclusión, la comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas evidencia que no existe un material universalmente superior, sino que su idoneidad depende del tipo de aplicación, las condiciones ambientales y los criterios técnicos, económicos y ambientales considerados, por esa misma razón, existe la necesidad de establecer protocolos experimentales específicos que permitan evaluar de manera objetiva el desempeño de las fibras naturales en ambientes marinos, garantizando su uso seguro, eficiente y sostenible en el sector naval artesanal, sobre todo, para un país caracterizado económicamente por la pesca y el comercio de mariscos internacional.

3.4 Análisis de normas técnicas aplicables

El análisis de normas técnicas aplicables es componente esencial para el diseño de un protocolo experimental orientado a la evaluación de fibras naturales en embarcaciones artesanales, ya que permite identificar criterios estandarizados de ensayo, parámetros de medición y condiciones de evaluación reconocidas a nivel nacional e internacional.

Aunque en esta investigación se conoció que actualmente no existen normas específicas diseñadas exclusivamente para fibras naturales aplicadas en entornos marinos, sin embargo, se descubrió que si se dispone de un conjunto de normativas desarrolladas para materiales compuestos, fibras sintéticas y ensayos mecánicos estas resultan altamente relevantes y transferibles a este contexto de fibras naturales.

Siendo precisamente ese uno de los principales vacíos normativos identificados, que corresponde a la ausencia de protocolos específicos para fibras naturales en condiciones marinas, especialmente en lo relativo a la interacción prolongada con agua salina, la absorción de humedad, la degradación biológica y la pérdida progresiva de propiedades mecánicas, sin embargo, la recopilación y análisis de las siguientes normas dan respuesta a un marco positivo para fortalecer los estudios previo a la construcción del protocolo.

Entre las normas más utilizadas se encuentran aquellas emitidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM), que establecen procedimientos ampliamente aceptados para la evaluación de propiedades físico-mecánicas de materiales compuestos.

Entre estas, se encuentran normas como la ASTM D3039 (ensayo de tracción en materiales compuestos puntos), ASTM D790 (ensayo de flexión de 3 puntos) y ASTM D2344 (prueba estándar resistencia interlaminar) son frecuentemente empleadas para caracterizar materiales reforzados con fibras, independientemente de su origen natural o sintético.

En el ámbito internacional, las normas ISO (International Organization for Standardization) también desempeñan un papel relevante. Estándares como la ISO 527 para ensayos de tracción de plásticos y materiales compuestos y la ISO 14125 para ensayos de flexión en plásticos reforzados con fibras proporcionan lineamientos técnicos que pueden adaptarse al estudio de fibras naturales. Asimismo, normas como la ISO 62, relacionada con la determinación de absorción de agua en plásticos, resultan particularmente pertinentes para analizar el comportamiento de materiales expuestos a ambientes marinos, donde la humedad y la salinidad influyen directamente en la durabilidad y estabilidad del material.

En relación con la exposición ambiental, se identifican normas orientadas a la simulación de envejecimiento acelerado, como la ASTM G154, que regula la exposición a radiación ultravioleta, y la ASTM B117, utilizada para ensayos de niebla salina, aunque estas normas fueron desarrolladas principalmente para materiales industriales, su aplicación adaptada permite evaluar el deterioro progresivo de fibras naturales sometidas a condiciones similares a las del entorno marino, aportando información relevante sobre su desempeño a largo plazo.

Por otro parte, las normas vinculadas a la industria naval, emitidas por organismos como la ISO y sociedades de clasificación marítima, establecen criterios generales de seguridad, resistencia estructural y durabilidad de materiales utilizados en embarcaciones. Si bien estas normativas suelen centrarse en materiales convencionales como acero, aluminio o fibra de vidrio, su análisis permite identificar vacíos normativos respecto al uso de materiales sostenibles, reforzando la necesidad de desarrollar protocolos específicos para fibras naturales en el sector naval artesanal.

El análisis conjunto de estas normas evidencia una ausencia de estandarización específica para la evaluación de fibras naturales en ambientes marinos, lo que limita su validación técnica y su aceptación formal en aplicaciones navales, no obstante, también demuestra la existencia de un marco normativo sólido que puede ser adaptado y articulado para el diseño de un protocolo experimental coherente, técnicamente fundamentado y alineado con estándares internacionales.

A partir de la identificación de estas normas, se tuvo como hallazgos algunos criterios técnicos fundamentales para el diseño del protocolo experimental propuesto, donde destacan la selección de propiedades físico-mecánicas críticas (resistencia a tracción, flexión, impacto y absorción de agua), la definición de condiciones de exposición marina simulada (salinidad, radiación ultravioleta y ciclos térmicos), y la adopción de procedimientos de ensayo basados en normas ASTM e ISO adaptadas al contexto de fibras naturales.

Asimismo, se considera indispensable la estandarización de la preparación de probetas y la incorporación de criterios de evaluación de durabilidad y estabilidad a largo plazo, brindando mayor confiabilidad al desarrollo del protocolo experimental.

En este sentido, el diseño del protocolo experimental se concibe como una herramienta técnica integradora, orientada a superar las limitaciones normativas actuales y a proporcionar un marco metodológico claro, reproducible y científicamente sustentado para la evaluación de fibras naturales en aplicaciones navales artesanales, contribuyendo

no solo al fortalecimiento del conocimiento técnico-científico, sino que también sienta las bases para futuras normativas y procesos de certificación de materiales sostenibles en el sector naval.

A continuación se presenta un cuadro, donde se discuten los vacíos identificados y los criterios para la elaboración del protocolo experimental.

Tabla 4

Cuadro comparativo: Vacíos normativos identificados y criterios técnicos propuestos para el diseño del protocolo experimental

| Vacíos normativos identificados | Descripción del vacío | Criterios técnicos propuestos para el protocolo experimental |
|---|--|---|
| Ausencia de normas específicas para fibras naturales en ambientes marinos | Las normativas ASTM e ISO existentes están diseñadas principalmente para fibras sintéticas y no consideran las particularidades de las fibras naturales expuestas a condiciones marinas. | Adaptación de normas ASTM e ISO para ensayos mecánicos, incorporando variables propias de fibras naturales y condiciones marinas simuladas. |
| Falta de criterios estandarizados para la durabilidad en agua salina | No se establecen parámetros específicos para evaluar la degradación de fibras naturales ante la exposición prolongada al agua de mar. | Inclusión de ensayos de absorción de agua, envejecimiento acelerado y exposición a salinidad controlada dentro del protocolo. |
| Escasa regulación sobre preparación y acondicionamiento de probetas | Las normas no definen tratamientos previos, control de humedad ni orientación de fibras naturales, lo que afecta la reproducibilidad de resultados. | Definición clara de procedimientos para la selección, tratamiento, secado y conformación de probetas con fibras naturales. |
| Limitada consideración de la degradación ambiental | Los efectos de la radiación UV, fluctuaciones térmicas y agentes biológicos no se integran sistemáticamente en los ensayos tradicionales. | Incorporación de ensayos de envejecimiento acelerado (UV, ciclos térmicos y humedad) adaptados a materiales lignocelulósicos. |
| Ausencia de criterios de evaluación comparativa con fibras sintéticas | No existen protocolos que permitan contrastar directamente el desempeño de | Inclusión de ensayos comparativos bajo iguales condiciones de evaluación |

| | | |
|--|--|---|
| | fibras naturales frente a materiales convencionales. | para fibras naturales y sintéticas. |
| Falta de integración de criterios de sostenibilidad | Las normas priorizan el desempeño mecánico sin evaluar impactos ambientales o uso de recursos locales. | Incorporación de criterios de sostenibilidad, disponibilidad local y potencial de reducción del impacto ambiental como variables complementarias. |
| Carencia de protocolos orientados a la industria naval artesanal | Las normativas existentes están dirigidas a aplicaciones industriales a gran escala, no a contextos artesanales. | Diseño de un protocolo adaptable, de bajo costo y aplicable a astilleros artesanales y centros de investigación locales. |

Elaboración propia

Conforme a la investigación, esta articulación entre vacíos normativos y criterios de diseño justifica plenamente la necesidad del protocolo propuesto y refuerza su relevancia como aporte metodológico para futuras investigaciones y procesos de certificación en el ámbito naval artesanal.

CAPITULO IV PROPUESTA

TÍTULO: DISEÑO DEL PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DEL USO DE FIBRAS NATURALES EN EMBARCACIONES ARTESANALES

4.1 Introducción de la propuesta

El presente capítulo desarrolla la propuesta central de la investigación, consistente en el diseño de un protocolo experimental para la evaluación del uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas.

Dicha propuesta se fundamenta en los resultados del diagnóstico realizado mediante revisión bibliográfica-documental, los cuales permitieron identificar vacíos normativos, limitaciones metodológicas y la ausencia de procedimientos estandarizados específicos para la validación técnica de materiales compuestos reforzados con fibras naturales en el ámbito naval artesanal.

El protocolo experimental propuesto se concibe como una herramienta metodológica de carácter técnico y sistemático, orientada a establecer criterios claros para la selección de materiales, la preparación de probetas, la simulación de condiciones marinas y la evaluación de propiedades físico-mecánicas relevantes, sin embargo, hay que aclarar que esta investigación solo pretende la elaboración del protocolo, más no contempla su ejecución práctica ni la obtención de resultados experimentales, sino que se enfoca exclusivamente en la estructuración de procedimientos reproducibles y alineados con normas técnicas nacionales e internacionales adaptadas al contexto de fibras naturales.

Además, este capítulo articula los criterios técnicos derivados del análisis normativo con principios de sostenibilidad, uso de recursos locales y viabilidad para la industria naval artesanal, con el propósito de garantizar que el protocolo propuesto sea aplicable tanto en contextos académicos como productivos.

4.2 Objetivo del protocolo experimental

Objetivo General del protocolo

Diseñar un protocolo experimental que establezca procedimientos técnicos y criterios normativos para la evaluación del uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas, considerando propiedades físico-mecánicas, durabilidad y aspectos de sostenibilidad.

Objetivos específicos del protocolo

- Definir los criterios técnicos para la selección y caracterización de fibras naturales aplicables a embarcaciones artesanales.
- Establecer procedimientos estandarizados para la preparación y acondicionamiento de probetas elaboradas con fibras naturales.
- Determinar las condiciones de exposición marina simulada necesarias para evaluar el comportamiento de las fibras naturales.
- Proponer ensayos físico-mecánicos basados en normas técnicas nacionales e internacionales adaptadas al uso de fibras naturales.
- Establecer criterios de evaluación que permitan analizar el desempeño técnico y la viabilidad de las fibras naturales en aplicaciones navales artesanales

4.3 Alcance y delimitación del protocolo

El protocolo experimental propuesto tiene un alcance metodológico y técnico, orientado a la evaluación del desempeño de fibras naturales utilizadas como refuerzo en materiales compuestos destinados a la construcción de embarcaciones artesanales, donde su aplicación se enfoca principalmente en contextos académicos, centros de investigación y astilleros artesanales interesados en la incorporación de materiales sostenibles en entornos marinos.

Cabe recalcar que el protocolo experimental a desarrollar se centra en el diseño de procedimientos científicos y no contempla la ejecución de ensayos ni la obtención de resultados empíricos.

Las fibras naturales consideradas corresponden a aquellas de disponibilidad local y uso potencial en la costa ecuatoriana, tales como la fibra de plátano y la paja toquilla, sin excluir la posibilidad de adaptación a otras fibras vegetales con características similares.

Asimismo, el protocolo se limita a la evaluación de propiedades físico-mecánicas básicas, comportamiento frente a la absorción de agua y exposición ambiental simulada, sin abordar aspectos relacionados con el diseño completo de embarcaciones ni procesos de certificación formal, pues no es parte del objetivo de la investigación.

4.5 Descripción general del protocolo experimental

El protocolo experimental propuesto se estructura como un conjunto ordenado de etapas metodológicas orientadas a evaluar, de manera sistemática y reproducible, el

comportamiento de fibras naturales aplicadas en embarcaciones artesanales expuestas a condiciones marinas.

Su diseño se fundamenta en la adaptación de normas técnicas internacionales y en los criterios técnicos definidos a partir de los estudios previos de las bibliografías estudiadas, con el objetivo de garantizar coherencia metodológica, comparabilidad de resultados y viabilidad de aplicación en contextos académicos y productivos.

De manera general, el protocolo se organiza en fases secuenciales que abarcan desde la selección y caracterización de los materiales hasta la definición de criterios de evaluación del desempeño técnico, dichas fases están resumidas en el gráfico de diagrama de flujo y en el anexo 2, donde cada etapa contempla procedimientos específicos que permiten controlar variables relevantes, además que facilita la identificación de posibles puntos críticos en el comportamiento de las fibras naturales y su interacción con el ambiente marino.

El protocolo inicia con la selección de las fibras naturales y de los materiales constituyentes del compuesto, considerando criterios de disponibilidad local, sostenibilidad y potencial de aplicación en embarcaciones artesanales, para después establecer procedimientos para la preparación y acondicionamiento de probetas, orientados a asegurar uniformidad y repetibilidad en los ensayos.

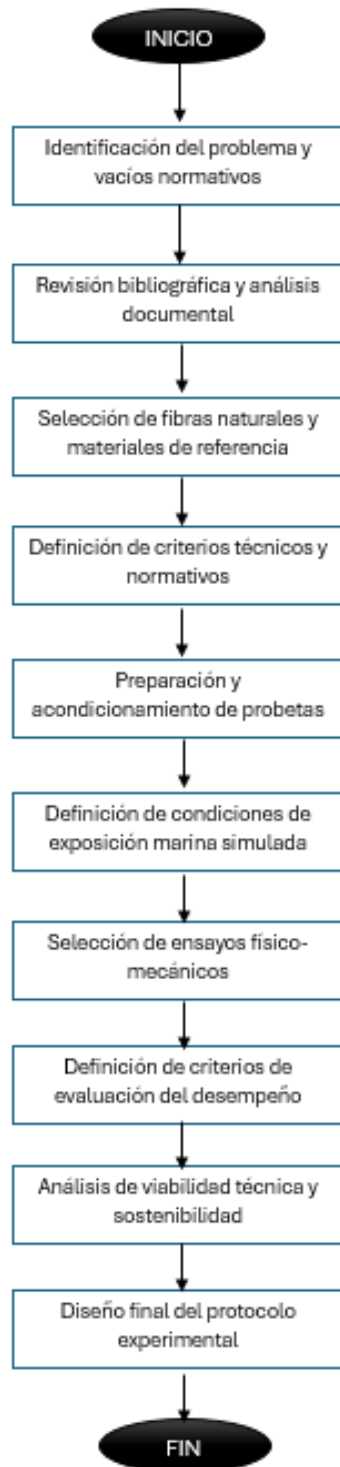
Luego de esto, se definen las condiciones de exposición marina simulada, que incluyen la inmersión en agua salina, la exposición a radiación ultravioleta y la aplicación de ciclos térmicos, con el fin de reproducir de manera controlada los factores ambientales que afectan la durabilidad del material.

Finalmente, el protocolo contempla la aplicación de ensayos físico-mecánicos estandarizados, así como la definición de criterios de análisis y evaluación del desempeño del material, que permiten interpretar los resultados en términos de resistencia, durabilidad y viabilidad técnica, estableciendo una base metodológica para la comparación con materiales convencionales y para futuras investigaciones experimentales.

Este diseño del protocolo experimental se organiza mediante un diagrama de flujo que representa de manera secuencial y lógica las etapas metodológicas propuestas para la evaluación del uso de fibras naturales en embarcaciones artesanales, facilita la comprensión del protocolo, refuerza su coherencia metodológica y constituye una guía estructurada para su futura aplicación y validación experimental.

Gráfico 2

Diagrama de flujo del protocolo experimental propuesto



Elaboración propia

4.6 Selección y caracterización de materiales

En este contexto, el protocolo se orienta a la evaluación de fibras naturales de origen vegetal con potencial uso en la construcción de embarcaciones artesanales, considerando criterios técnicos, ambientales y de disponibilidad local.

En esta etapa se propone la selección de fibras naturales ampliamente disponibles en la región costera ecuatoriana, tales como la fibra de plátano y la paja toquilla, debido a su carácter renovable, bajo impacto ambiental y uso tradicional en actividades productivas locales, principalmente estas fibras presentan una composición lignocelulósica que les confiere propiedades mecánicas adecuadas para su uso como refuerzo en materiales compuestos, lo que justifica su inclusión dentro del protocolo.

No obstante, el diseño del protocolo es flexible y permite su adaptación a otras fibras vegetales con características similares ya sea fibra de yute, lino, cáñamo, coco, algodón, entre otros.

En cuanto a la caracterización de las fibras naturales, el protocolo establece la evaluación de propiedades generales relevantes para aplicaciones marinas, tales como la densidad, el contenido de humedad, la absorción de agua y la morfología superficial. Puesto que, estas propiedades influyen directamente en la interacción fibra–matriz y en el comportamiento del material compuesto frente a ambientes húmedos y salinos, esto ayudará a establecer parámetros de referencia antes de la aplicación de ensayos mecánicos posteriores.

Dentro del protocolo es importante la selección de una matriz polimérica de referencia compatible con aplicaciones navales artesanales, la cual puede corresponder a resinas comúnmente empleadas en la fabricación de embarcaciones, como resinas poliéster o epóxicas, esta elección debe ser analizada según la resistencia al ambiente marino, facilidad de procesamiento y disponibilidad en el mercado local.

Para elegir esta matriz, esta debe ser definida de manera controlada, considerando proporciones y métodos de conformado que aseguren la reproducibilidad y validación científica del proceso.

Finalmente, el protocolo establece que la selección y caracterización de materiales debe realizarse bajo criterios estandarizados y documentados, permitiendo la trazabilidad de la información y la comparación de resultados entre diferentes estudios.

A continuación se presenta una ayuda visual de este proceso:

Tabla 5*Criterios técnicos para la selección de fibras naturales en el protocolo experimental*

| Criterio de selección | Descripción técnica | Justificación para aplicaciones marinas |
|--|--|---|
| Disponibilidad local | Presencia y acceso a la fibra en la región costera ecuatoriana | Facilita el abastecimiento, reduce costos y promueve el uso de recursos locales |
| Origen renovable | Fibra de origen vegetal y biodegradable | Contribuye a la sostenibilidad ambiental y reducción del impacto ecológico |
| Propiedades mecánicas | Resistencia a tracción y rigidez adecuadas como material de refuerzo | Permite soportar esfuerzos estructurales en embarcaciones artesanales |
| Composición lignocelulósica | Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina | Influye en la resistencia, absorción de humedad y compatibilidad con matrices |
| Absorción de humedad | Capacidad de retener agua | Factor crítico para evaluar durabilidad en ambientes marinos |
| Compatibilidad con matrices poliméricas | Capacidad de adhesión fibra–matriz | Garantiza eficiencia estructural del material compuesto |
| Facilidad de procesamiento | Manipulación, conformado y tratamiento de la fibra | Viabiliza su uso en procesos artesanales y semiindustriales |
| Impacto ambiental | Huella ecológica asociada al ciclo de vida del material | Refuerza el enfoque sostenible del protocolo |
| Costo | Precio accesible frente a fibras sintéticas | Favorece la adopción por parte del sector naval artesanal |

Elaboración propia

4.7 Preparación y acondicionamiento de probetas

La preparación y acondicionamiento de probetas constituye una etapa crítica dentro del protocolo experimental, ya que garantiza la homogeneidad de las muestras y la fiabilidad de los ensayos físico-mecánicos propuestos.

Un procedimiento estandarizado en esta fase permite reducir la variabilidad de los resultados y asegurar la reproducibilidad del protocolo en futuras aplicaciones experimentales.

A continuación se mencionan los procedimientos correspondientes a esta etapa:

1. Como primer punto, el protocolo establece la selección y clasificación de las fibras naturales de acuerdo con su longitud, diámetro y estado físico, descartando aquellas que presenten defectos visibles, deterioro biológico o contaminación.
2. Posteriormente, las fibras deberán someterse a un proceso de limpieza y secado controlado, con el fin de eliminar impurezas superficiales y reducir el contenido de humedad, específicamente para el procedimiento de secado, se propone realizar a temperatura ambiente o en estufa a baja temperatura, evitando la degradación térmica de la fibra.
3. Una vez acondicionadas las fibras, se contempla la aplicación opcional de tratamientos superficiales, tales como tratamientos alcalinos suaves, orientados a mejorar la adherencia entre la fibra natural y la matriz polimérica.
4. Al realizar estos tratamientos se debe documentar de manera detallada, indicando concentración, tiempo de exposición y método utilizado, con el objetivo de garantizar la trazabilidad del proceso.
5. La conformación de las probetas se realizará mediante la combinación controlada de las fibras naturales con la matriz polimérica seleccionada, respetando proporciones previamente definidas y asegurando una distribución uniforme de las fibras.
6. Para el uso de probetas, se recomienda la utilización de moldes estandarizados que permitan obtener probetas con dimensiones y geometrías acordes a las normas técnicas de ensayo, tales como las establecidas por ASTM e ISO para materiales compuestos.
7. Finalmente, las probetas conformadas deberán someterse a un proceso de acondicionamiento previo a los ensayos, manteniéndolas bajo condiciones controladas de temperatura y humedad durante un periodo determinado, para permitir estabilizar las propiedades del material y minimizar la influencia de factores ambientales externos.

El cumplimiento riguroso de estos procedimientos asegura que las probetas representen de manera adecuada el comportamiento del material compuesto reforzado con fibras naturales en aplicaciones marinas.

4.8 Condiciones de exposición marina simulada

Las condiciones de exposición marina simulada propuestas en el presente protocolo tienen como finalidad reproducir, de manera controlada y acelerada, los principales factores ambientales que influyen en el comportamiento y durabilidad de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales en aplicaciones navales artesanales.

Estos factores incluyen la acción del agua salina, la radiación ultravioleta, las variaciones térmicas y los cambios en la humedad ambiental, los cuales actúan de forma combinada en el entorno marino real. A continuación se realiza una especificación para estudiar estas condiciones.

a. Exposición a agua salina

El protocolo propone la exposición de las probetas a una solución salina que simule la composición del agua de mar, con una concentración aproximada de cloruro de sodio del 3,5 % en peso, valor que representa a la salinidad regular del mar.

Las probetas deberán ser sumergidas total o parcialmente, según el tipo de ensayo posterior, en recipientes no reactivos y bajo condiciones controladas de temperatura, lo que permitirá evaluar la absorción de agua, la degradación del material y la pérdida de propiedades mecánicas asociadas a la interacción prolongada con el medio marino.

A continuación, se presenta la matriz de parámetros para la exposición a agua salina:

Tabla 6

Matriz de Referencia: Parámetros de Exposición a Agua Salina

| Parámetro Crítico | Especificación Recomendada | Justificación (Ambiente Marino) | Técnica |
|---------------------------|---|---|----------------|
| Composición del Agua | Agua de Mar Sintética (ASTM D1141-Práctica estándar para la preparación de agua de mar sustitutiva) | Se debe evitar el uso de sal de mesa común. La norma asegura la presencia de cloruros, sulfatos y carbonatos que reaccionan con la fibra. | |
| Concentración (Salinidad) | 3.5% de cloruro de sodio (aproximadamente) | Es el promedio mundial de salinidad oceánica. Niveles mayores podrían saturar la muestra artificialmente. | |
| Temperatura del Baño | 23°C (Ambiente) o 40°C (Acelerado) | El calor acelera la difusión del agua dentro de los capilares de la fibra natural, simulando un envejecimiento de largo plazo. | |
| Tipo de Inmersión | Inmersión Total Continua | Asegura que la probeta esté bajo la misma presión | |

hidrostática y concentración
iónica en todas sus caras.

Elaboración propia

b. Exposición a radiación ultravioleta (UV)

Para simular el efecto de la radiación solar, el protocolo contempla la exposición de las probetas a radiación ultravioleta mediante el uso de las cámaras de envejecimiento acelerado.

Para esto, se propone el uso de ciclos de radiación UV que reproduzcan la acción del espectro solar sobre materiales expuestos en ambientes marinos, considerando periodos alternados de radiación y reposo, lo que permitirá evaluar fenómenos como la degradación superficial, la pérdida de rigidez y el envejecimiento prematuro del material compuesto reforzado con fibras naturales.

Para que sea posible el estudio, hay que asegurarse de que la cámara de envejecimiento tenga un sistema de Ojo Solar o Solar Eye para mantener los 0.89 W/m^2 (vatios por metros cuadrados) constantes, ya que sin esto, las lámparas pierden potencia con el tiempo y el ensayo pierde validez.

Para esto se puede regir a lo que indica la norma ASTM G154 (Exposición del material a rayos UV fluorescentes) que es el estándar más utilizado para cámaras UV, la cual tiene dos opciones principales:

- Lámparas UVA-340: Son perfectas para simular la luz solar en la región de onda corta (de 295 nm a 365 nm) y proporcionan la mejor correlación con el daño causado por el sol real en exteriores, sirven especialmente para materiales que expongan al ambiente marino.
- Lámparas UVB-313: Emiten rayos UV más cortos y agresivos que los que llegan a la superficie terrestre y estos se usan para ensayos de tortura o materiales muy resistentes, pero pueden causar fallos que nunca ocurrirían en el mar.

Estas opciones pueden variar de acuerdo con el investigador y al tipo de material compuesto al que se maneje, pero manejan estos estándares.

En resumen se tiene el siguiente resumen que se basa en los estándares de la ASTM G154:

Tabla 7

Matriz de Referencia: Parámetros de Exposición UV

| Parámetro Crítico | Especificación Recomendada | Justificación Técnica (Ambiente Marino) |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| Tipo de Lámpara | UVA-340 | Es la que mejor simula la radiación solar de onda corta 295 a 365 nm que causa la degradación de la lignina en fibras naturales. |
| Irradiancia | 0.89 W/m ² /nm | Representa el nivel de radiación de un mediodía soleado en verano. Es el estándar para evitar degradaciones artificiales por exceso de potencia. |
| Temperatura (BPT) | 60°C (+/- 3°C) | Se utiliza la Temperatura de Panel Negro (BPT). Simula el calentamiento de las superficies oscuras (como cascos o cubiertas) bajo el sol directo. |
| Duración del Ciclo UV | 8 Horas | Simula el periodo de máxima insolación diaria. Se alterna con ciclos de oscuridad/condensación para permitir que el material "respire". |
| Distancia a la Lámpara | 50 mm | Garantiza que la distribución de la energía sobre las muestras sea uniforme y que el calor no se acumule por falta de flujo de aire. |

Elaboración propia

c. Ciclos térmicos y humedad

El protocolo establece la aplicación de ciclos térmicos controlados que simulen las variaciones de temperatura propias del entorno marino, incluyendo alternancias entre temperaturas moderadas y elevadas.

Estos ciclos deberán combinarse con condiciones de alta humedad relativa, con el fin de reproducir los efectos de expansión, contracción y absorción de humedad en el material.

A diferencia de las fibras sintéticas (vidrio o carbono), las fibras naturales (como el coco, yute, fibra de plátano, cáñamo, lino o cabuya) son higroscópicas, lo que significa que beben agua, lo que afecta directamente la interfase entre la fibra y la resina.

Para esto se debe manejar el siguiente orden:

- a. Antes de meter las muestras a la cámara, se debe estabilizarlas.
- b. Las fibras naturales varían su peso según la humedad del laboratorio, sin embargo, el estándar conforme a las normas ASTM 1776 se debe mantener las muestras a 21° centígrados, con una variación de 1° centígrado y 65% de humedad relativa hasta que su masa no varíe más del 0.1% en mediciones sucesivas, lo que asegura que todos tus datos partan de una base comparable.
- c. Se mide el ciclo de envejecimiento Sugerido (Humedad-UV), ya que para embarcaciones artesanales, el material no solo recibe luz, sino que sufre un choque térmico cuando el sol calienta el casco y el agua lo enfría, para lo cual hay que tener en cuenta lo siguiente:

Tabla 8

Ciclo de Envejecimiento Sugerido (Humedad-UV)

| Parámetro | Valor para Ambiente Marino | Propósito |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|
| Tipo de Lámpara | UVA-340 | Simular el espectro solar crítico. |
| Ciclo UV | 4 a 8 horas a 60° C. | Degradación de la lignina/celulosa y la resina. |
| Ciclo de Condensación | 4 horas a 50° C. | Crítico: Provoca el hinchamiento de la fibra. |
| Spray de Agua (Opcional) | 15 min cada 2h | Simula lluvia o salpicaduras, causando choque térmico. |

Elaboración propia

- d. Por otra parte, las fibras naturales pueden expandirse hasta un 5-10% en volumen al absorber agua, lo que causa micro fisuras en la matriz, por tanto conforme a la ISO 62: Medición de Absorción de Agua se debe medir la ganancia de masa usando la fórmula:

$$M_t(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

Donde en términos sencillos W_t es el peso húmedo y W_0 es el peso seco.

- e. Sumado a esto, hay que medir el Coeficiente de Expansión por Humedad (CHE), siendo un indicador considerable, pues un CHE alto significa que las piezas

podrían deformarse o despegarse de la estructura. Siendo la forma correcta de medición, por cada 1% de humedad absorbida medir cuanto cambia la muestra.

La aplicación de ciclos térmicos y de humedad resulta esencial para analizar la estabilidad dimensional y la resistencia del material frente a condiciones ambientales fluctuantes.

d. Tiempo de exposición propuesto

El tiempo de exposición propuesto en el protocolo se define en función de ensayos de envejecimiento acelerado, considerando periodos que permitan simular la acción prolongada del ambiente marino en lapsos de tiempo reducidos.

Se sugiere establecer intervalos de exposición escalonados, tales como corto, medio y largo plazo, con el fin de analizar la evolución progresiva del comportamiento del material y para eso deberán ser claramente definidos y documentados para facilitar la comparación de resultados y la reproducibilidad del protocolo en futuras investigaciones.

En términos simples, utilizando un estándar, la industria de pinturas y fibras utiliza la siguiente equivalencia: donde 1000 horas de cámara UV equivalen a 1 año de exposición real en un clima húmedo y soleado. Es decir, si la embarcación artesanal debe durar al menos 5 años antes de recibir mantenimiento mayor, el experimento debería durar 5000 horas para conocer si la fibra natural soporta dichas condiciones.

Para esta medición, lo ideal sería no dejar la luz encendida todo el tiempo, sino que dividir esas horas en ciclos mencionados anteriormente y para avanzar rápido con esta evaluación, es ideal realizar el experimento y al ver que a las primeras 500 horas la fibra ya se despeluzo o se hincha desproporcionadamente, ya no se necesita llegar a las 1000 horas, puesto que el material ya falló para uso marino y debe buscarse otro tipo de fibra.

En conjunto, las condiciones de exposición marina simulada definidas en este protocolo permiten reproducir de forma controlada los principales agentes de deterioro ambiental que afectan a los materiales compuestos reforzados con fibras naturales, proporcionando una base técnica sólida para la evaluación de su durabilidad y viabilidad en aplicaciones navales artesanales.

4.9 Ensayos físico-mecánicos propuestos

Estos ensayos propuestos para el presente protocolo tienen como finalidad evaluar el desempeño estructural, la resistencia y la durabilidad de los materiales compuestos

reforzados con fibras naturales destinados a la construcción de embarcaciones artesanales.

Dichos ensayos físicos-mecánicos han sido escogidos debido a que responden a la necesidad de caracterizar las propiedades críticas que inciden directamente en la seguridad, estabilidad y vida útil de los componentes navales expuestos a condiciones marinas.

A continuación los ensayos propuestos para este tipo de casos:

Tabla 9

Ensayos físico-mecánicos propuestos en el protocolo

| Ensayo | Propiedad evaluada | Norma de referencia | de Aplicación principal |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Tracción | Resistencia y módulo elástico | ASTM D3039 / ISO 527 | Cargas longitudinales |
| Flexión | Rigidez y resistencia a flexión | ASTM D790 / ISO 14125 | Esfuerzos estructurales |
| Absorción de agua | Comportamiento higroscópico | ISO 62 | Durabilidad marina |
| Impacto | Tenacidad | ASTM D256 | Golpes y choques |

Elaboración propia

Estos ensayos se plantean para ser aplicados tanto en estado inicial como posterior a las condiciones de exposición marina simulada, permitiendo analizar la variación del comportamiento mecánico del material. A continuación, se describen los ensayos considerados prioritarios dentro del protocolo:

a. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción permite determinar la resistencia máxima, el módulo de elasticidad y el comportamiento del material compuesto sometido a cargas longitudinales, estos parámetros son fundamentales para aplicaciones navales ya que las estructuras de embarcaciones experimentan esfuerzos continuos de tensión durante la navegación.

Se propone la aplicación del ensayo conforme a la norma ASTM D3039 (Ensayo de tracción en materiales compuestos) y la ISO 527 (Ensayo de tracción plásticos) empleando probetas rectangulares con dimensiones estandarizadas.

Para este experimento la carga deberá aplicarse de manera progresiva y controlada hasta la rotura del material, registrando valores de esfuerzo máximo, deformación y modo de falla, esto permitirá evaluar la capacidad del material para soportar cargas estructurales sin fallas prematuras.

Entre los parámetros claves que hay tener claros son los siguientes:

1. Selección de la norma

- Si es un compuesto (Fibra + Resina) se usa la norma ASTM D3039 que es la estándar para materiales compuestos de matriz polimérica.
- Si es la fibra pura (hilo o cordel): Usa la ASTM D2256.

2. Geometría de la Probeta

Para materiales compuestos, se usan probetas rectangulares con una dimensión típica de 250 mm de largo a 15 a 25 mm de ancho, además de que para este proceso, las fibras naturales son propensas a deslizarse o aplastarse en las mordazas de la máquina, aquí son necesarias pequeñas placas de fibra de vidrio o lija gruesa en los extremos para que la máquina agarre la probeta sin destruirla antes de empezar el ensayo.

3. Acondicionamiento Post-Cámara

Es importante no sacar la muestra después de provenir de la cámara UV (que esta húmeda y caliente) y realizar el ensayo de inmediato, ya que los datos serán erráticos, por tanto, se debe dejar las muestras en un ambiente controlado a 23° C y 50% de humedad por al menos 24 a 48 horas antes de estirarlas.

4. Velocidad de Ensayo

Se debe manejar a una velocidad de unos 2 mm por minuto y este debe ser constante para que los resultados de antes y después del envejecimiento sean comparables.

5. Datos importantes que recopilar

- La resistencia o carga máximas que soportó antes de romperse.
- Módulo de Young: Es decir, que tan rígida es la fibra, ya que estas suelen volverse más rígidas y quebradizas con el UV.
- Elongación a la rotura: Cuánto se estiró y Si el UV dañó la fibra, este valor bajará drásticamente.

6. Parámetros de cálculo

Para comparar los resultados, se debe utilizar la fórmula de Pérdida de Propiedades:

$$\% \text{ Retención} = \left(\frac{\sigma_{\text{envejecido}}}{\sigma_{\text{virgen}}} \right) \times 100$$

Tener en cuenta que para embarcaciones artesanales, una pérdida mayor al 20-25% de la resistencia original tras 1000h de UV suele considerarse una señal de que el material necesita un recubrimiento protector como una resina modificada o barniz con filtro UV; esto debido a que una pérdida de resistencia significaría que la fibra natural por sí sola no resistirá el ambiente marino.

Ensayo de Flexión

El ensayo de flexión evalúa la resistencia del material frente a cargas combinadas de tracción y compresión, simulando condiciones típicas en cascos y estructuras de embarcaciones sometidas a oleaje o impactos moderados, esto resulta esencial para determinar la rigidez estructural y la capacidad de deformación del compuesto.

Para el diseño de embarcaciones, el ensayo de flexión es incluso más crítico que el de tracción, ya que el casco de un bote artesanal debe soportar la presión del agua, el impacto de las olas y las cargas de peso, situaciones donde el material tiende a doblarse más que a estirarse.

El protocolo propone el uso de la norma ASTM D790 o ISO 14125, mediante el método de flexión en tres puntos, donde se registrarán parámetros como esfuerzo máximo de flexión, módulo de flexión y deflexión máxima, lo que permitirá estimar la estabilidad del material frente a sollicitaciones mecánicas repetitivas.

Para evaluar los compuestos de fibra se toma en consideración lo siguiente:

- Relación Luz/espesor: Generalmente exige una relación 16:1 según indica la ASTM D790.
- Para la velocidad del ensayo las fibras naturales, una velocidad común suele rondar los 1 a 2 mm/por minuto.

Al terminar el ensayo se obtendrá los siguientes parámetros claves:

- Resistencia a la flexión: El esfuerzo máximo que aguantó antes de fallar.
- Módulo de flexión Qué tan rígido es el material (importante para que el casco del bote no se deforme demasiado con las olas).
- Deformación máxima: Hasta dónde se dobló antes de romperse.

El parámetro clave aquí es el hinchamiento, si la fibra natural se hincha por la humedad dentro del compuesto, genera grietas internas y en el ensayo de flexión, esto se nota como una caída drástica ya que se vuelve aguado o chicloso.

Ensayo de absorción de agua

La absorción de agua constituye un factor crítico en fibras naturales debido a su carácter higroscópico, este ingreso de humedad puede generar hinchamiento, degradación de la interfaz fibra–matriz y pérdida de propiedades mecánicas, afectando la durabilidad del material en ambientes marinos.

Se propone la aplicación del procedimiento establecido en la ISO 62 y la norma ASTM D570, que consiste en la inmersión de probetas en agua salina durante periodos definidos, registrando el incremento de masa en función del tiempo.

Por lo que, los resultados permitirán determinar el porcentaje de absorción y la estabilidad dimensional del material, parámetros esenciales para evaluar su comportamiento en condiciones marina.

Entre los parámetros preliminares a tomar en consideración están el secado inicial (secar a 50° a 100° C) lo que elimina cualquier tipo de humedad, tipo de agua, temperatura de agua (23° C o temperatura ambiente) y un intervalo de pesaje de cada 24 horas).

Una vez realizado esto, se mide el porcentaje de ganancia de masa mediante la siguiente formula:

$$M_t(\%) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

Con esta fórmula aplicada a fibras naturales, un valor alto mayor al 5-10% sugiere que el material es muy vulnerable y podría fallar estructuralmente en el ambiente marino.

Por otra parte, si se observa en qué momento la curva de absorción se vuelve plana (el material ya no admite más agua), significa que la saturación ocurre muy rápido, el recubrimiento de la embarcación (resina o pintura) no está protegiendo eficazmente las fibras.

Además, se debe medir el espesor y el largo de la muestra antes y después del ensayo, ya que si la pieza aumenta de tamaño, se corre el riesgo de que se produzcan grietas en la estructura del bote o que las uniones dejen de encajar.

Por último, se vuelve a secar la muestra en el horno y se nota que pesa menos que al principio del experimento, significa que el agua lavó o disolvió partes de la fibra natural, lo que claramente es una señal clara de degradación química del material.

Ensayo de resistencia al impacto

El protocolo contempla la posibilidad de aplicar ensayos de impacto para evaluar la capacidad del material de absorber energía ante golpes o colisiones, situaciones frecuentes en embarcaciones artesanales durante operaciones de pesca o maniobras portuarias.

Este ensayo puede realizarse conforme a la norma ASTM D256 (Prueba de impacto Izod con entalla en plásticos) o ensayo de impacto Charpy (ISO 179) donde la energía absorbida durante la fractura permitirá estimar la tenacidad del material y su resistencia a daños súbitos.

Para el procedimiento se utiliza la probeta, se selecciona un martillo con la capacidad de carga adecuada (medida en Julios) y el péndulo no debe detenerse por completo tras el impacto, sino continuar su recorrido, donde se observará lo siguiente:

- a. Energía absorbida: Se registra cuántos Julios de energía se consumieron para romper la probeta, donde a mayor energía absorbida, más seguro es el material para el casco de una embarcación.
- b. Resiliencia: Este valor permite comparar diferentes tipos de fibras (ej. coco vs. lino) de manera objetiva, independientemente de su tamaño.
- c. Tipo de fractura: Se inspecciona visualmente la zona de ruptura tras el impacto, si es una ruptura frágil, indica que el material se rompe como un vidrio y es peligroso para una embarcación porque no avisa antes de fallar; en cambio, si es una extracción de fibras, se observan pelos de fibra saliendo de la resina, siendo este el resultado esperado, pues significa que la fibra está trabajando bien, absorbiendo energía antes de romperse.

Hay que considerar que una fibra natural apta para embarcaciones es aquella que, tras el envejecimiento UV y la absorción de agua, mantiene una falla tenaz (con extracción de fibras) y no se vuelve quebradiza.

En conjunto, estos ensayos descritos permiten caracterizar de forma integral el comportamiento mecánico y físico del material compuesto reforzado con fibras naturales, abarcando resistencia, rigidez, durabilidad y estabilidad frente a la humedad. Además que proporcionan información suficiente para determinar la viabilidad técnica de las fibras

naturales como alternativa sostenible a materiales sintéticos en embarcaciones artesanales.

4.10. Evaluación del protocolo (Check List)

Con el propósito de garantizar la correcta aplicación del protocolo experimental, asegurar la estandarización de cada una de sus etapas y facilitar la evaluación de este protocolo se tomará como referencia un Check list de seguimiento y cumplimiento que se consideró necesario para aquellos que pretendan seguir de manera experimental con la investigación planteada, especialmente para técnicos de laboratorio, astilleros o investigadores que lo apliquen en campo, específicamente en embarcaciones artesanales.

A continuación se presenta el Check list propuesto:

Tabla 10

Check list integral para la evaluación de fibras naturales en embarcaciones artesanales

| Fase | Elemento por verificar | Criterio requerido | técnico | Acción Evidencia | / | ✓ |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------|---|--------------------------|
| 1. Selección de fibras | Tipo de fibra | Origen identificado | vegetal (plátano, abacá, paja toquilla, etc.) | Ficha técnica del material | | <input type="checkbox"/> |
| | Disponibilidad local | Abastecimiento garantizado | continúo | Registro de proveedor | | <input type="checkbox"/> |
| | Estado físico | Libre de impurezas y daños | de hongos, y daños | Inspección visual | | <input type="checkbox"/> |
| | Humedad inicial | $\leq 10-12\%$ | | Medición con higrómetro | | <input type="checkbox"/> |
| 2. Tratamiento previo | Limpieza | Eliminación de polvo/residuos | de | Lavado o cepillado | | <input type="checkbox"/> |
| | Secado | Temperatura controlada (60–80 °C) | | Horno de secado | | <input type="checkbox"/> |
| | Tratamiento previo | Alcalinización/salinización aplicada | | Registro del procedimiento | | <input type="checkbox"/> |
| 3. Fabricación de probetas | Tipo de matriz | Resina compatible (epoxi o poliéster) | | Especificación técnica | | <input type="checkbox"/> |
| | Proporción fibra-matriz | Fracción controlada | volumétrica | Cálculo documentado | | <input type="checkbox"/> |
| | Dimensiones | Según norma ASTM/ISO | | Medición con calibrador | | <input type="checkbox"/> |
| | Curado | Tiempo y temperatura definidos | | Registro de curado | | <input type="checkbox"/> |
| 4. Acondicionamiento | Temperatura | $23 \pm 2\text{ °C}$ | | Cámara climática | | <input type="checkbox"/> |

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| | Humedad relativa | 50 ± 5 % | Registro ambiental | <input type="checkbox"/> |
| | Tiempo de estabilización | ≥ 48 h | Hoja de control | <input type="checkbox"/> |
| 5. Exposición marina simulada | Inmersión salina | Solución NaCl 3,5 % | Tanque de inmersión | <input type="checkbox"/> |
| | Radiación UV | UVA-340 o equivalente | Cámara UV | <input type="checkbox"/> |
| | Ciclos térmicos | 5–40 °C | Programación térmica | <input type="checkbox"/> |
| | Humedad cíclica | 60–95 % HR | Cámara climática | <input type="checkbox"/> |
| | Tiempo de exposición | 500–1000 h mínimo | Registro cronológico | <input type="checkbox"/> |
| 6. Ensayos físico-mecánicos | Tracción | ASTM D3039 | Resultados registrados | <input type="checkbox"/> |
| | Flexión | ASTM D790 | Resultados registrados | <input type="checkbox"/> |
| | Impacto | ASTM D256/ISO 179 | Resultados registrados | <input type="checkbox"/> |
| | Absorción de agua | ASTM D570/ISO 62 | Variación de masa (%) | <input type="checkbox"/> |
| | Densidad/porosidad | ISO 1183 | Cálculo realizado | <input type="checkbox"/> |
| 7. Evaluación del daño | Inspección superficial | Fisuras/delaminación | Observación visual | <input type="checkbox"/> |
| | Microscopía | Interfase fibra-matriz | Registro fotográfico | <input type="checkbox"/> |
| | Pérdida de masa | Comparación antes/después | Pesaje | <input type="checkbox"/> |
| 8. Análisis de resultados | Repetibilidad | ≥ 5 probetas por ensayo | Promedio y desviación | <input type="checkbox"/> |
| | Comparación normativa | Cumple criterios mínimos | Tabla comparativa | <input type="checkbox"/> |
| | Interpretación técnica | Informe elaborado | Reporte final | <input type="checkbox"/> |

Elaboración propia

A través de esta herramienta se permitirá verificar de manera ordenada el cumplimiento de requisitos relacionados con la selección de materias primas, preparación de probetas, acondicionamiento ambiental, exposición marina simulada, ejecución de ensayos físico-mecánicos y análisis de resultados, garantizando una evaluación integral y completa del protocolo diseñado.

4.10. Cierre del protocolo

El presente capítulo desarrolló de manera sistemática el diseño del protocolo experimental orientado a la evaluación de fibras naturales aplicadas a embarcaciones

artesanales, integrando criterios técnicos, normativos y científicos obtenidos a partir del diagnóstico bibliográfico, documental y normativo realizado en los capítulos precedentes.

Esta propuesta estableció procedimientos estandarizados para la selección y caracterización de materiales, preparación de probetas, simulación de condiciones marinas y ejecución de ensayos físico-mecánicos, así como lineamientos claros para el análisis e interpretación de resultados.

En conclusión, el protocolo diseñado representa un marco metodológico integral, adaptable y fundamentado científicamente, que podrá ser aplicado, validado y perfeccionado en futuras investigaciones experimentales, consolidándose como un punto de partida para el desarrollo de soluciones tecnológicas más eficientes y ambientalmente responsables en la construcción de embarcaciones artesanales.

CONCLUSIONES

En relación con la revisión bibliográfica, se determinó que diversas fibras naturales, como plátano, abacá, yute y paja toquilla, presentan propiedades físico-mecánicas competitivas especialmente en resistencia específica, baja densidad y capacidad de absorción de energía, lo que las posicionan como alternativas viables frente a fibras sintéticas en aplicaciones navales artesanales, sin embargo, la revisión literaria coincide en que su principal limitación radica en la sensibilidad a la humedad, la degradación biológica y la variabilidad natural del material, lo que hace indispensable establecer procedimientos de evaluación estandarizados para garantizar su desempeño estructural en ambientes marinos.

Respecto a la identificación y selección de normas técnicas, se evidenció que existen estándares internacionales consolidados para ensayos de materiales compuestos especialmente la ASTM y las normas ISO, tales como tracción, flexión, impacto, absorción de agua y envejecimiento acelerado; sin embargo, estas normativas fueron diseñadas principalmente para compuestos con fibras sintéticas como plásticos, carbono, entre otros, por tanto, se constató la ausencia de lineamientos específicos que contemplen las particularidades higroscópicas, biológicas y ambientales dirigidas para las fibras naturales, lo que representa un vacío normativo que limita su certificación y adopción formal en la industria naval artesanal.

Se logró sistematizar información técnica dispersa proveniente de investigaciones científicas, manuales y estándares, permitiendo integrar criterios de selección de fibras, parámetros de acondicionamiento, condiciones de exposición marina simulada y métodos de evaluación mecánica, lo que facilitó la construcción de una base técnica coherente y fundamentada para el diseño de instrumentos técnicos cuando la experimentación directa no constituye el propósito del estudio.

Respecto al diseño del protocolo experimental, se elaboró una propuesta metodológica estructurada, replicable y adaptable que establece de forma secuencial las etapas de selección de materiales, preparación de probetas, simulación ambiental, y ejecución de ensayos físico-mecánicos y análisis respectivos, para esto se consideró criterios científicos y normativos internacionales, garantizando confiabilidad, trazabilidad y comparabilidad en futuras evaluaciones, y constituyéndose en una herramienta técnica que puede ser aplicada por laboratorios, astilleros y centros de investigación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el protocolo experimental en laboratorios y astilleros artesanales para su validación práctica, realizando pruebas piloto con probetas y prototipos a escala real que permitan verificar la reproducibilidad de los procedimientos propuestos, además del uso de equipos calibrados de ensayo universal, cámaras de envejecimiento acelerado y sistemas de inmersión salina controlada, a fin de asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tal como se indica, se debe estandarizar las condiciones de exposición ambiental simulada, empleando soluciones salinas con concentraciones equivalentes al agua de mar 3,5 % cloruro de sodio, lámparas UV tipo UVA-340 para simular radiación solar y cámaras climáticas programables para ciclos térmicos y de humedad.

Complementar los ensayos físico-mecánicos con técnicas de caracterización microscópica y análisis morfológico, tales como microscopía óptica o electrónica, pruebas de absorción capilar y evaluación de pérdida de masa, con el fin de identificar mecanismos de degradación interna, delaminación o deterioro de la interfase fibra-matriz que no siempre son evidentes en las pruebas mecánicas convencionales.

Como recomendación más importante es impulsar la elaboración de lineamientos normativos específicos para materiales compuestos con fibras naturales, tomando como base el protocolo diseñado en esta investigación, con el objetivo de contribuir a procesos de certificación técnica, regulación de calidad y mayor aceptación institucional de estos materiales en proyectos de construcción naval artesanal.

BIBLIOGRAFÍA

- Albornoz, E., Guzmán, M., Sidel, K., & Chuga, J. (2023). Metodología de la investigación aplicadas a la ciencia, salud y educación. *Publicaciones Mawil*, 3(8). <https://mawil.us/wp-content/uploads/2023/08/metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Anrango, A. (2020). Desarrollo de un acabado con aceite de palma africana sobre tejido de abacá que permita mejorar su durabilidad en el agua de mar. *Universidad Técnica del Norte*. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10654/2/04%20IT%20269%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Arias, F. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones. *Revista electrónica de Humanidades*, 31(22). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9489470.pdf>
- Besednjak, M. (2015). Materiales compuestos : Procesos de fabricación de embarcaciones. *Research*, 4(10). doi:10.5821/ebook-9788498802108
- Betancourth, D., Parra, N., Jimenez, A., & Noboa, M. (2023). Análisis textil: una aproximación a las fibras naturales. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(6), 660-675. doi:<https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i6.884>
- Calle, E. (2023). Diseños de investigación cualitativa y cuantitativa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1865-1880. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7016
- Carter, R. (2024). Natural vs Synthetic Fibers: What's More Sustainable? *NOVATOMATO*. <https://www.novatomato.com/blog/natural-vs-synthetic-fibers/>
- Cisneros, A., Guevara, A., Urdánigo, J., & Garcés, J. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que apoyan a la Investigación Científica. *Dominio de las Ciencias*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i41.2546>

- Collie, S., Brorens, P., Hassan, M., & Fowler, I. (2024). Marine Biodegradation Behavior of Wool and Other Textile Fibers. *Springer Nature*, 235(283). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-024-07093-6>
- Edah, G., Atiba, J., & Fayomi, O. (2025). Advancements in fibre-reinforced polymers: Properties, applications (A mini review). *Elsevier*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.100743>
- El Hawary, O., Boccarusso, L., Ansell, M., Durante, M., & Pinto, F. (2023). Una descripción general de los compuestos de fibra natural para aplicaciones marinas. *Revista Mar de Ciencias*. <http://mdpi.com/2077-1312/11/5/1076>
- Eleuterio, T., Trota, M., & Meirelles, M. (2025). A Review of Natural Fibers: Classification, Composition, Extraction, Treatments, and Applications. *MDPI Journal List*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/fib13090119>
- Figuroa, D. (2025). Impacto Ambiental de la pesca artesanal en la zona costera. *Universidad Estatal del Sur*, 2(1). <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7961/1/figuroa%20santana%20jefferson%20daniel.pdf>
- Gamarra, G., & Urcia, M. (2022). Propuesta de diseño de un catamarán con proa invertida de 6.5 metros de eslora para brindar servicio en la región Lambayeque. *Universidad Católica Santo Toribio de Mogroviejo*, 3(2). https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/5548/8/TL_GamarraDamianGea n.pdf
- García, J. (2024). Elaboración de un manual de seguridad marítima para embarcaciones menores y la implementación de elementos de seguridad en la embarcación “SANTA GEMA II”. *Revista ULEAM*, 12(1). <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/5787/1/ULEAM-ING.MAR-012.pdf>
- García, J., Castro, D., Gayo, P., & Ballester, F. (2014). Effects of sea water environment on glass fiber reinforced plastic materials used for marine civil engineering constructions. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/publication/268822259_Effects_of_sea_water_env

ironment_on_glass_fiber_reinforced_plastic_materials_used_for_marine_civil_engineering_constructions

Gómez, D., Ortíz, R., & Vega, J. (2024). Aplicaciones de las fibras naturales en el sector industrial. Revisión General. *Gestión ID*, 10(1), 162-208. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9988939.pdf>

Gómez, J. (2024). Elaboración de un manual de seguridad marítima para embarcaciones menores y la implementación de elementos de seguridad en la embarcación “SANTA GEMA II”. *Revista ULEAM*. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/5787/1/ULEAM-ING.MAR-012.pdf>

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2021). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173. <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>

Haro, A., Chisag, E., Ruiz, J., & Johana, C. (2024). Tipos y clasificación de las investigaciones. *Redilat. Revista Latinoamericana de Ciencias y Humanidades*, 5(2), 956 – 966. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927>

Hernández, A. (2023). EFECTO DEL AGUA SALINA EN EL COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS DE VIDRIO, CARBONO Y ARAMIDA. *Instituto Nacional de México*. https://itp.itpachuca.edu.mx/pdf/repositorio_tesis/21201047.pdf

Huang, Y., Hamed, M., Shahar, F., Kukaszewicz, A., & Grzejdl, R. (2025). Kenaf Fiber-Reinforced Biocomposites for Marine Applications: A Review. *National Library of Mediciny*, 24(18). <https://doi.org/10.3390/ma18050999>

Isea, J. (2024). Enfoque cualitativo y cuantitativo para abordar la realidad. *Revista Uniandes*, 10(2), 1-2. doi:<https://doi.org/10.61154/metanoia.v10i2.3629>

Islam, T. H., & Covington, S. (2025). Natural Fibers Towards Fashion Sustainability: A Review of Raw Materials, Production, Application, and Perspective. *Journal of*

Natural Fibers Tylor & Francis, 22(4).
<https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2462218>

Jiménez, J., Contreras, I., & López, M. (2022). Lo cuantitativo y cualitativo como sustento metodológico en la investigación educativa: un análisis epistemológico. *Revista Humanidades*, 12(2). <https://doi.org/10.15517/h.v12i2.51418>

Karthik, S., & Arunachalam, P. (2020). Investigation on the tensile and flexural behavior of coconut inflorescence fiber reinforced unsaturated polyester resin composites. *Mater. Res. Express*, 7(10). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c9d>

Lara, R. (2018). Los ecosistemas marinos. *Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio*.
http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/105_Losecosistemasmr.pdf

López, A., Essamari, L., Iturrondobeitia, M., Boullosa, D., & Justel, D. (2025). Life cycle assessment of glass fibre versus flax fibre reinforced composite ship hulls. *National Center for Biotechnology Information*, 15(1). doi:10.1038/s41598-025-00811-y

Luna, P., & Lizarazo, M. (2022). Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. *Revista de física*, 65(7).
<https://pdfs.semanticscholar.org/9033/377e545ad4b46fdc1a6ebdfc4f1232335413.pdf>

Martinez, J., Palacios, G., & Oliva, D. (2023). Guía para la Revisión y el Análisis Documental: Propuesta desde el Enfoque Investigativo. *Instituto Tecnológico de San Luis Potosí*, 19(1), 67-83.
https://www.researchgate.net/publication/369385707_Guia_para_la_Revision_y_el_Analisis_Documental_Propuesta_desde_el_Enfoque_Investigativo

Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. : *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*.
<https://doi.org/10.35622/inudi.b.80>

- Menezes, D. (2015). Construcción de embarcaciones pesqueras. *FAO Documento Técnico de Pesca y Agricultura*. <https://www.fao.org/4/i1108s/i1108s.pdf>
- Monsalve, J., Sánchez, M. L., & Baquero, D. (2019). Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de paneles reforzados con fibras de caña. *INGE CUC*, *14*(1), 66-74. <https://www.redalyc.org/pdf/4977/497779331006.pdf>
- Mora, W., Valencia, B., & Moreno, G. (2020). Fibras Naturales como alternativa de refuerzo en materiales compuestos. Una revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Básica*, *17*(2), 1-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7750461>
- Nicolalde, J., Martínez, J., Manguashca, J., & Cando, M. (2025). Caracterización de Propiedades Mecánicas de la Fibra de Palma de Mocora para Aplicaciones Estructurales. *Revista Politécnica*, *54*(02). <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v54n2/2477-8990-rpolit-54-02-00075.pdf>
- Ortega, M., Gómez, Z., Solano, J., & Yepes, D. (2022). Materiales compuestos de fibras naturales y polímero reciclados: mezclas, pretratamientos, agentes de acople y propiedades mecánicas. - Una revisión. *Investigación En Ingeniería*. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.7579>
- Ortúzar, R. (2019). Materiales para la construcción de buques. *Revista Marina*, *2*(99). <https://revistamarina.cl/revistas/1999/2/rortuzarm.pdf>
- Palma, J., García, M., Pilquinao, B., Chung, P., & Molina, E. (2020). Fibras vegetales de uso artesanal. *Instituto Forestal Chile*, *57*(60), 60.
- Parga, B., & Hernández, F. (2016). Materiales compuestos para embarcaciones deportivas. *Revista Dyna*. <https://www.revistadyna.com/Documentos/pdfs%5C1999%5CSeptiembre%5C1698DYNAINDEX.pdf>
- Pérez, C. (2016). Naval composites : los materiales compuestos y la industria naval. *UPCOMMONS*. <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/17ebc584-9f65-48d3-ae1f-3ce49e5a71b2>

- Ramos, C. (2020). Los Alcances de investigación. *Ciencia América*, 9(3), 1-5. <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Reyes, L., & Carmona, F. (2020). La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio. *Universidad Simón Bolívar*. <https://bonga.unisimon.edu.co/server/api/core/bitstreams/2af35a4b-2abf-4f78-a550-0a4e4764e674/content>
- Rivera, D., & Albán, J. (2021). Prototipo de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibras de Cajanus Cajas: Diseño, caracterización y aplicación industrial. *Universidad Politécnica Salesiana*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21797/4/UPS-GT003600.pdf>
- Rivera, D., Alban, J., Villamarin, J., & Medina, R. (2022). Prototipo de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibras de cajanus Cajan: diseño, caracterización y aplicación industrial. *Journal of Science and Research. CININGE*, 88-104. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2740>
- Rojas, D., & Sánchez, V. (2023). Estudio de las propiedades fisicomecánicas de tejidos naturales recubiertos con compuestos termoestables de óxido de grafeno y resina de poliuretano para el reforzamiento de materiales cementicios. *Universidad industrial de Santander*. <http://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/e1fd3b5b-d165-4b23-b5d7-726645c2c9c2/content>
- Sandoval, E. (2024). Metodología para la Revisión Sistemática de Literatura Crítica sobre los Desarrollos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 1007-1026. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10546
- Sanjay, M., Arpitha, G., Laxmana, L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (2018). Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural Resource*, 3(1). <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=64454>
- Shahinur, S., & Hasan, M. (2019). Natural Fiber and Synthetic Fiber Composites: Comparison of Properties, Performance, Cost and Environmental Benefits. *Research Gate*, 12(4). doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.10994-4

- Shawkatul, S., Salim, Kalbin, Rahman, N., Salam, M., Bhuiyan, A., & Kaura, P. (2025). Effects of fiber content on the mechanical properties of rice straw/carbon/glass fiber reinforced epoxy composites: Experimental and numerical analysis. *Hybrid Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100402>
- Siddiqui, S., Hutton, S., & Dickens, J. (2022). Natural and synthetic microfibers alter growth and behavior in early life stages of estuarine organisms. *Frontiers*, 9(2). <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.991650/full>
- Suarez, J., & Reyes, F. (2018). Estudio técnico para industrializar lanchas de fibra de vidrio en el taller “zambrano océano fibra, ubicado en la parroquia anconcito, provincia de santa elena. *Universidad Estatal de la Península de Santa Elena*, 1(1). <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/736c2e85-6497-48bf-ac9a-e7b2edd6fd0f/content>
- Vásquez, A., Guaniche, L., Cahuana, R., Vera, R., & Holgado, J. (2023). Métodos de investigación científica. *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>
- Vizcaíno, P., Cedeño, R., & Maldonado, I. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9735. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

ANEXOS

MATRIZ BIBLIOGRÁFICA-DOCUMENTAL

| N° | Título | Autor(es) | Año de publicación | Tipo de documento | Metodología | Conceptos de interés para su investigación |
|----|---|--|--------------------|------------------------|---|--|
| 1 | Prototipo de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibras de cajanus Cajan: diseño, caracterización y aplicación industrial. | Rivera, Dayaneth; Alban, Jessy; Villamarin, Juan; Medina, Roberto. | 2021 | Tesis | Explicativa, descriptiva | Fibra natural Fibra vegetal Fibra de Cajanus Cajan (frejol) |
| 2 | Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. Revista de física, | Luna, P., & Lizarazo, M. | 2022 | Artículo científico | Cuantitativo Descriptivo | Fibras naturales Compuestos Matriz Procedimientos experimentales con fibras |
| 3 | Materiales compuestos de fibras naturales y polímero reciclados: mezclas, pretratamientos, agentes de acople y propiedades mecánicas. | Ortega, M., Gómez, Z., Solano, J., & Yepes | 2022 | Artículo | Diseño experimental Transversal de alcance descriptivo | Materiales compuestos Polímeros Uso de materiales naturales Matriz para compuestos. |
| 4 | (2020). Fibras Naturales como alternativa de refuerzo en materiales compuestos | Mora, W., Valencia, B., & Moreno, G. | 2020 | Artículo | Explicativa, descriptiva | Materiales compuestos Fibras |
| 5 | Efecto del agua salina en el comportamiento tribológico de materiales | Hernández A. | 2023 | Artículo de alto nivel | Experimental Explicativo | Comportamiento en ambiente marino |

| | | | | | | |
|---|--|---|------|---------------------|---|---|
| | compuestos con fibras de vidrio, carbono y aramida. | | | | Descriptivo | Experimento con agua salada Uso de fibras |
| 6 | Una descripción general de los compuestos de fibra natural para aplicaciones marinas | El Hawary, O., Boccarusso, L., 2023 Ansell, M., Durante, M., & Pinto, F | | Artículo científico | Experimental Descriptivo | Compuestos en fibra natural Tipos de fibras naturales Uso de fibras Aplicaciones marinas |
| 7 | Effects of fiber content on the mechanical properties of rice straw/carbon/glass fiber reinforced epoxy composites: Experimental and numerical analysis. | Shawkatul, S., Salim, Kalbin, 2025 Rahman, N., Salam, M., Bhuiyan, A., & Kaura, P. | | Artículo científico | Analítico Experimental Descriptivo | Propiedades mecánicas de fibras Uso de compuestos Resina epóxicas |
| 8 | Desarrollo de un acabado con aceite de palma africana sobre tejido de abacá que permita mejorar su durabilidad en el agua de mar | Anrango, Ana | 2020 | Tesis | Experimental Propositivo | Tejido de fibra Uso de fibra vegetal Exposición al ambiente marino Exposición de fibras al agua salada |
| 9 | Caracterización de Propiedades Mecánicas de la Fibra de Palma de Mocora para Aplicaciones Estructurales | Nicolalde, Juan; Martinez, Javier; Maiguashca, Javier; Cando, Mario | 2025 | Tesis | Investigación bibliográfica Análisis Documental | Propiedades mecánicas de la fibra Ensayo de flexión Ensayos de Tracción |

| | | | | | | Enfoque Explicativo | |
|-----------|--|--|------|---------------------|---|--|--|
| 10 | Kenaf Fiber-Reinforced Biocomposites for Marine Applications: A Review | Huang, Yang; Hammed, Mohamed; Shahar, Farah; Kukaszewicz, Andrzej; Grzejdl, Rafa | 2025 | Artículo científico | Experimental Analítico | Biocomposites Compuestos Matriz de aplicación | |
| 11 | Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de paneles reforzados con fibras de caña | Monsalve, Jonathan; Sánchez, Martha L; Baquero, David | 2019 | Artículo | Revisión sistemática bibliográfica | Propiedades físicas-mecánicas Ensayos aplicados Fibras naturales | |
| 12 | A Review of Natural Fibers: Classification, Composition, Extraction, Treatments, and Applications | Eleuterio, Telmo; Trota, María; Meirelles, María | 2025 | Artículo científico | Revisión Bibliográfica Análisis documental | Fibras naturales Clasificación de composites Aplicaciones a fibras | |
| 13 | Estudio de las propiedades fisicomecánicas de tejidos naturales recubiertos con compuestos termoestables de óxido de grafeno y resina de poliuretano para el reforzamiento de materiales cementicios | Rojas, Daniel; Sánchez, Valentina. | 2023 | Tesis | Enfoque mixto Descriptivo Analítico Documental | Propiedades físicas de fibras Propiedades mecánicas de fibras Compuestos de fibras | |
| 14 | Advancements in fibre-reinforced polymers: Properties, applications (A mini review) | Edah, Gabriel; Atiba, Joshua; Fayomi, Ojo | 2025 | Artículo | Documental Explicativo Descrptivo | Uso de fibras reforzadas Propiedades de fibra reforzada Aplicaciones para fibras | |

| | | | | | | | |
|-----------|--|---|------|---------------------|------------------------------------|--|---|
| | | | | | | | Compuestos y resinas |
| 15 | Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview | Sanjay, M.; Arpitha, G.; Laxmana, L.; Gopalakrishna, K; Yogesha, B. | 2018 | Artículo científico | Documental Revisión sistemática | | Fibras naturales Compuestos Composites |
| 16 | Natural Fiber and Synthetic Fiber Composites: Comparison of Properties, Performance, Cost and Environmental Benefits | Shahinur, Sweety; Hasan, Mahbub. | 2019 | Artículo científico | Experimental Analítico | | Fibras Sintéticas vs Fibras naturales Aplicaciones en fibras Desarrollo de diferentes tipos de fibras |
| 17 | Natural Fibers Towards Fashion Sustainability: A Review of Raw Materials, Production, Application, and Perspective | Islam, Tarikul; Hossain, Monir; Covington, Shamira | 2025 | Artículo científico | Analítico Experimental | | Applications de Fibras Perspectivas futuras en fibras naturales Sustentabilidad Sostenibilidad |

Anexo. Esquema general del protocolo experimental propuesto

| Fase del protocolo | Actividad principal | Descripción técnica | Norma / Referencia |
|---|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Fase 1: Selección de materiales | Identificación de fibras naturales | Selección de fibras naturales de origen vegetal con potencial aplicación naval artesanal, considerando disponibilidad local y sostenibilidad. | Literatura científica especializada |
| Fase 2: Caracterización inicial | Evaluación preliminar del material | Identificación de propiedades generales de las fibras naturales, como composición, densidad y comportamiento higroscópico. | Estudios previos / ISO 527 |
| Fase 3: Preparación de probetas | Conformación y acondicionamiento | Definición de dimensiones, orientación de fibras, tratamientos previos y control de humedad de las probetas. | ASTM D3039 / ISO 14125 |
| Fase 4: Exposición marina simulada | Simulación de condiciones ambientales | Inmersión en agua salina, exposición a radiación UV y aplicación de ciclos térmicos para simular envejecimiento marino. | ASTM B117 / ASTM G154 |
| Fase 5: Ensayos físico-mecánicos | Evaluación del desempeño mecánico | Propuesta de ensayos de tracción, flexión y absorción de agua para evaluar resistencia y durabilidad. | ASTM D3039 / ASTM D790 / ISO 62 |
| Fase 6: Análisis de resultados | Interpretación técnica | Definición de criterios de comparación y evaluación del desempeño frente a materiales convencionales. | Criterios técnicos del protocolo |
| Fase 7: Evaluación de viabilidad | Análisis final del material | Análisis de aplicabilidad técnica, sostenibilidad y potencial uso en embarcaciones artesanales. | Marco conceptual del estudio |