



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA
MARÍTIMA

TRABAJO DE TITULACIÓN

MODALIDAD PROYECTO TÉCNICO

PROTOTIPO DE CASCO CON FIBRAS ORGÁNICAS LOCALES:
VIABILIDAD TÉCNICA FRENTE A LA FIBRA DE VIDRIO

Autores:

QUIMÍS CASTRO HOOVER ANDRÉS

Tutor:

BUITRÓN FLORES ANDERSON DAVID

MANTA-ECUADOR 2026

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

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) 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 la autoría del estudiante QUIMIS CASTRO HOOVER ANDRES, legalmente matriculado/a en la carrera de INGENIERÍA MARÍTIMA, período académico 2022-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“PROTOTIPO DE CASCO CON FIBRAS ORGÁNICAS LOCALES: VIABILIDAD TÉCNICA FRENTE A LA FIBRA DE VIDRIO”**.

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.

Manta, 28 de julio de 2026.

Lo certifico,



Ing. Anderson David Buitrón Flores
Docente Tutor(a)
Área: Ingeniería Marítima

Declaración de autoría

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Yo, QUIMIS CASTRO HOOVER ANDRES, con cédula de identidad: 1350793392, egresado de la UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ, de la carrera de Ingeniería Marítima, expongo que cada uno de los contenidos, referencias bibliográficas, recopilación de los datos obtenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones de esta investigación con el nombre de “PROTOTIPO DE CASCO CON FIBRAS ORGÁNICAS LOCALES: VIABILIDAD TÉCNICA FRENTE A LA FIBRA DE VIDRIO”, periodo académico 2026(1), son de mi total autoría.

Manta, 19 agosto de 2026.

Hoover Quimis Castro

Quimis Castro Hoover Andres



Ing. Buitrón Flores Anderson David

Docente Tutor

Dedicatoria

"A mi querida madre, Malena Castro, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable a lo largo de mi vida. Gracias por sostenerme desde el principio, por no dejarme caer en los momentos más difíciles y por ser mi más grande inspiración para seguir adelante y culminar hoy esta meta con éxito."

Agradecimiento

"A **Dios**, por ser mi guía, mi fortaleza y el motor que me impulsó a seguir adelante con mis estudios día a día.

A **mi madre**, con todo mi amor y gratitud, porque su apoyo incondicional y su presencia en cada momento de mi vida han sido la fuerza que me permite celebrar hoy esta graduación."

A **mi hermana**, por su presencia constante y su apoyo inquebrantable a lo largo de toda mi carrera

A **mi padre**, por sus consejos, su confianza y por ser un pilar fundamental en mi formación.

A **mis hermanos**, por ser mi inspiración diaria y acompañarme con su complicidad en cada etapa de este camino."

Resumen

La búsqueda de materiales alternativos para la construcción naval ha impulsado el estudio de fibras naturales como refuerzo de matrices poliméricas, debido a su disponibilidad local y potencial para reducir la dependencia de materiales sintéticos. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar comparativamente la viabilidad técnica de prototipos de casco a escala fabricados con resina poliéster reforzada con fibras de banano y coco, tomando como referencia un prototipo elaborado con fibra de vidrio. El estudio se desarrolló mediante un enfoque aplicado y experimental. Inicialmente, se caracterizó geométrica e hidrostáticamente un modelo de casco de embarcación menor, con dimensiones aproximadas de 0,50 m de eslora, 0,15 m de manga y 0,09 m de puntal, empleando herramientas de modelado digital y el software MaxSurf. Posteriormente, se prepararon los materiales de refuerzo y se fabricaron tres prototipos mediante el método de laminado manual o *Hand Lay-Up*, utilizando resina poliéster como matriz. El análisis comparativo evidenció que la fibra de vidrio presentó mayor uniformidad de fabricación y mejores propiedades mecánicas referenciales. Entre las fibras naturales, el banano mostró el mejor equilibrio técnico por su flexibilidad, adaptación al molde, orientación longitudinal y mayores valores referenciales de resistencia y rigidez respecto al coco. La fibra de coco presentó mayor heterogeneidad y consumo de material, aunque destacó por su mayor deformabilidad y resistencia referencial al impacto frente al banano. Se concluye que las fibras naturales evaluadas presentan factibilidad para la fabricación de prototipos a escala, destacándose la fibra de banano como la alternativa de mayor potencial técnico, aunque su aplicación en embarcaciones reales requiere ensayos mecánicos, estructurales, de absorción y durabilidad bajo condiciones normalizadas.

Palabras clave: fibras naturales, fibra de banano, fibra de coco, fibra de vidrio, materiales compuestos, casco de embarcación, laminado manual.

Abstract

The search for alternative materials for shipbuilding has promoted the study of natural fibers as reinforcement for polymer matrices, due to their local availability and their potential to reduce dependence on synthetic materials. The objective of this research was to comparatively evaluate the technical feasibility of scale hull prototypes manufactured with polyester resin reinforced with banana and coconut fibers, using a fiberglass prototype as the reference material. The study was conducted using an applied and experimental approach. Initially, a small-vessel hull model was geometrically and hydrostatically characterized, with approximate dimensions of 0.50 m in length, 0.15 m in beam, and 0.09 m in depth, using digital modeling tools and MaxSurf software. Subsequently, the reinforcement materials were prepared and three prototypes were manufactured using the manual lamination or *Hand Lay-Up* method, with polyester resin as the matrix. The comparative analysis showed that fiberglass provided greater manufacturing uniformity and better reference mechanical properties. Among the natural fibers, banana fiber exhibited the best technical balance due to its flexibility, mold adaptability, longitudinal orientation, and higher reference values of strength and stiffness compared with coconut fiber. Coconut fiber showed greater heterogeneity and material consumption, although it stood out for its higher deformability and greater reference impact resistance than banana fiber. It is concluded that the evaluated natural fibers are feasible for the manufacture of scale prototypes, with banana fiber emerging as the alternative with the greatest technical potential. However, its application in full-scale vessels requires further mechanical, structural, water absorption, and durability testing under standardized conditions.

Keywords: natural fibers, banana fiber, coconut fiber, fiberglass, composite materials, vessel hull, hand lay-up.

Índice de Contenido

Titulo.....	1
Antecedentes.....	1
Justificación	3
Propuesta	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	6
1.1. Concepto y funciones del casco.....	6
1.2. Tipos de casco.....	6
1.2.1. Casco de fondo plano	6
1.2.2. Casco de fondo redondeado.....	7
1.2.3. Casco en forma de V	7
1.2.4. Multicasco	7
1.3. Principios fundamentales en la industria naval	8
1.3.1. Flotabilidad.....	8
1.3.2. Estabilidad	8
1.4. Tipos de estabilidad	9
1.4.1. Fuerzas que intervienen en la estabilidad	9
1.5. Dimensiones en una embarcación	10
1.5.1. Eslora	10
1.5.2. Manga	11
1.5.3. Puntal.....	12
1.6. Esfuerzos que actúan sobre el casco de una embarcación.....	12
1.6.1. Esfuerzos longitudinales verticales	12
1.6.2. Esfuerzos longitudinales horizontales	13
1.6.3. Esfuerzos de torsión	13
1.7. Alcance de los esfuerzos estructurales	13
1.8. Origen de los esfuerzos.....	13
1.9. Fuerzas que actúan sobre el casco del buque	14
1.9.1. Fuerzas estáticas	14
1.9.2. Fuerzas dinámicas.....	15
1.10. Tipos de Fibras locales	15

1.10.1.	Fibra de coco	17
1.10.2.	Fibra de banano	18
1.11.	Tipos de Resinas	19
1.11.1.	Resinas de poliéster y viniléster	19
1.11.2.	Resinas epoxi.....	20
1.11.3.	ECO-Resinas	20
1.12.	Materiales Compuestos	21
1.13.	Molde o superficie de conformación	22
1.14.	Preparación de fibras naturales.....	23
1.15.	Métodos de fabricación de materiales compuestos	23
1.15.1.	Laminado manual (Hand Lay-Up)	23
1.15.2.	Infusión al vacío	24
1.15.3.	Moldeo por compresión.....	24
1.15.4.	Moldeo por transferencia de resina (RTM)	25
1.16.	Curado del material compuesto	25
1.17.	Desmoldeo y acabados superficiales	25
1.18.	Normas aplicables.....	26
CAPITULO II PROCESO METODOLÓGICO DE ELABORACIÓN DE LOS PROTOTIPOS		27
2.1	Descripción general del prototipo	27
2.2	Modelado, preparación digital y análisis	27
2.2.1.	Dimensiones del prototipo.....	27
2.2.2.	Geometría del casco.....	28
2.2.3.	Análisis de la relación de dimensiones	28
2.2.4.	Análisis hidrostático del prototipo	29
2.3	Materiales	30
2.3.1.	Refuerzo natural	30
2.3.2.	Matriz polimérica	30
2.3.3.	Material de referencia.....	30
2.3.4.	Configuración estructural	31
2.4	Proceso de fabricación propuesto: Laminado manual (Hand Lay-Up)	31
2.5	Criterios de evaluación y viabilidad naval	31
2.6	Organización del proceso de fabricación.....	32

2.7	Caracterización geométrica e hidrostática del modelo de casco	32
CAPITULO III. FABRICACIÓN DE LOS PROTOTIPOS.....		38
3.1	Condiciones de preparación y fabricación de los prototipos.....	38
3.3.1.	Preparación de los materiales	38
3.2	Elaboración de los prototipos	42
3.4.1.	Fibra de Banana + Resina Poliéster.....	42
3.4.2.	Fibra de Coco + Resina Poliéster	43
3.4.3.	Fibra de Vidrio + Resina Poliéster.....	45
3.3	Etapa de curado	46
3.4	Retiro del molde y acabados.....	46
3.5	Verificación inicial de los prototipos mediante pruebas empíricas	46
3.7.1.	Prueba empírica de absorción de agua	47
3.7.2.	Prueba empírica de equilibrio transversal en flotación	48
3.6	Análisis comparativo	49
3.7	Interpretación de resultados.....	54
CONCLUSIONES.....		58
RECOMENDACIONES		60
BIBLIOGRAFÍA		61
ANEXOS.....		63

Índice de Tablas

Tabla 1	Normas ASTM aplicable a los ensayos	26
Tabla 2	Parámetros hidrostáticos del modelo para un calado de 0,035 m.....	35
Tabla 3	Composición inicial de los materiales utilizados en los prototipos	50
Tabla 4	Características constructivas de los prototipos	51
Tabla 5	Propiedades mecánicas referenciales de los materiales compuestos	53
Tabla 6	Desempeño mecánico referencial relativo	53
Tabla 7	Síntesis comparativa de los prototipos	56

Índice de Figuras

Figura 1	Longitud total del barco: Eslora	11
Figura 2	Manga de un barco	11
Figura 3	Puntal de un barco	12
Figura 4	Fibras Naturales	16
Figura 5	Materiales Compuestos	22
Figura 6	Perspectiva del prototipo modelado	33
Figura 7	Caja de cuernas del modelo de casco	33
Figura 8	Líneas longitudinales y líneas de agua del modelo. Fuente: Elaboración propia mediante modelado digital.....	34
Figura 9	Líneas de agua del modelo	34
Figura 10	Curva longitudinal de áreas sumergidas del modelo para un calado de 0,035 m	37
Figura 11	Desmoldante.....	38
Figura 12	Fibra de banano y fibra de coco	39
Figura 13	Preparación de la fibra de vidrio	40
Figura 14	Preparación de la resina y catalizador.....	41
Figura 15	Finalización del prototipo de banana más resina	43
Figura 16	Finalización del prototipo de coco más resina	44
Figura 17	Finalización del prototipo de vidrio más resina	45
Figura 18	Prueba empírica de equilibrio transversal del prototipo mediante nivel de burbuja.....	49
Figura 19	Curva esfuerzo deformación de los materiales empleados en los prototipos	52

Índice de Anexos

Anexo 1	Modelado del prototipo.....	63
Anexo 2	Máquina para la impresión del prototipo en molde de material PLA.....	64
Anexo 3	Pruebas en los prototipos	64
Anexo 4	Diseño de los prototipos de fibra de vidrio, banano y coco.....	65

Criterio unificado aplicado en todo el texto

- Resistencia mecánica: MPa
- Módulo elástico: GPa
- Densidad: g/cm³
- Conductividad térmica: W/m·K
- Elongación: %
- Temperatura: °C

Título

PROTOTIPO DE CASCO CON FIBRAS ORGÁNICAS LOCALES: VIABILIDAD TÉCNICA FRENTE A LA FIBRA DE VIDRIO.

Antecedentes

El empleo de materiales compuestos ha marcado un cambio significativo en la industria naval, especialmente en la fabricación de cascos para embarcaciones de pequeño y mediano tamaño. En sus inicios, estos cascos se construían principalmente con madera, acero o aluminio; sin embargo, con la introducción de los polímeros reforzados con fibra de vidrio (PRFV) durante la década de 1950, surgió una alternativa que revolucionó el sector. Su bajo peso, resistencia a la corrosión y facilidad de moldeo convirtieron a la fibra de vidrio en el material preferido, desplazando progresivamente a la madera, sobre todo en embarcaciones de pesca artesanal, recreativas y de transporte ligero.

No obstante, a pesar de sus ventajas, los cascos fabricados con polímeros reforzados con fibra de vidrio pueden presentar deterioros asociados a la exposición prolongada al ambiente marino, defectos de fabricación, absorción de humedad, fatiga estructural o envejecimiento del material. En estructuras tipo sándwich, estos problemas pueden manifestarse como delaminación entre capas o separación del núcleo, afectando la integridad del casco y aumentando los requerimientos de mantenimiento.

Otro daño habitual son las ampollas, que se presentan como pequeñas burbujas o grietas en la superficie del casco. Estas imperfecciones permiten la entrada de agua, y con el tiempo, las variaciones de temperatura provocan su expansión, lo que agrava el problema. Si no se interviene a tiempo, las ampollas pueden fracturar o dañar la capa de Gelcoat, *“siendo esta una superficie protectora hecha, al mezclar resina de poliéster de*

buena calidad con espesantes, colorantes, rellenos y otros componentes, requiriendo trabajos de lijado, aplicación de resina y un nuevo recubrimiento protector”. (FiberGlass, 2022)

Asimismo, la fatiga estructural es un fenómeno común en este tipo de cascos. Las vibraciones del motor, el impacto constante de las olas y la exposición prolongada al sol generan tensiones repetitivas que, poco a poco pueden permitir el ingreso de agua, ocasionando deformaciones, ampollas o desprendimientos de las capas internas. Aunque la fatiga no puede evitarse por completo, un mantenimiento preventivo y revisiones periódicas contribuyen a prolongar la vida útil de la embarcación.

Por último, el pandeo térmico o deformación por calor se presenta cuando el casco se expone durante mucho tiempo a temperaturas elevadas. En tales condiciones, los materiales plásticos o de espuma que conforman el núcleo pueden perder rigidez y forma, por lo que se requiere sustituir las secciones afectadas para restaurar la estructura original.

En Latinoamérica, varias investigaciones y proyectos experimentales han buscado aprovechar los recursos locales para la fabricación de embarcaciones artesanales ecológicas. En países como Ecuador, Perú y Colombia, se han realizado prototipos de cascos y cubiertas reforzados con fibras de cabuya, guadua y coco. Los resultados han demostrado que, mediante un adecuado tratamiento de las fibras y una correcta combinación con la resina, es posible alcanzar propiedades mecánicas similares a las obtenidas con la fibra de vidrio convencional, ofreciendo una opción más económica y ambientalmente responsable para la construcción naval.

Justificación

La presente investigación contribuye al análisis técnico de materiales compuestos reforzados con fibras orgánicas locales, mediante la evaluación de su posible aplicación en prototipos de cascos para embarcaciones menores. Este estudio busca determinar si dichas fibras pueden ofrecer un desempeño mecánico y estructural adecuado para aplicaciones náuticas, considerando parámetros como resistencia, adherencia, durabilidad e impermeabilidad. Los resultados permitirán establecer criterios objetivos para su uso en estructuras navales, promoviendo la innovación en el diseño de materiales compuestos sostenibles.

Desde una perspectiva económica y territorial, el proyecto promueve el aprovechamiento racional de recursos naturales renovables disponibles en la región. El empleo de estos materiales fomenta la producción local, impulsa la generación de valor agregado en zonas rurales y artesanales, y contribuye al fortalecimiento de cadenas productivas sostenibles vinculadas al sector marítimo y pesquero.

A nivel ambiental, la investigación responde a la necesidad de incorporar materiales de menor impacto ecológico en la construcción naval, alineándose con las políticas de sostenibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, y el ODS 12: Producción y Consumo Responsables. El uso de fibras naturales permite reducir la dependencia de materias primas no renovables y favorece la transición hacia tecnologías más limpias dentro del sector.

Finalmente, la justificación de este estudio radica en su carácter aplicado e innovador. La elaboración y evaluación de un prototipo funcional de casco permitirá validar experimentalmente las propiedades de las fibras orgánicas locales frente a

materiales convencionales, aportando información útil para futuras investigaciones, optimización de procesos productivos y desarrollo de embarcaciones más eficientes, sostenibles y accesibles.

Propuesta

La presente investigación propone el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de casco para embarcación menor elaborado con materiales compuestos reforzados con fibras orgánicas locales. En este estudio se consideran específicamente la fibra de coco (*Cocos nucifera*) y la fibra de banana (*Musa paradisiaca*), materiales abundantes en el contexto ecuatoriano y con propiedades mecánicas y físico-químicas adecuadas para ser evaluadas como posibles refuerzos en laminados compuestos destinados a pequeñas embarcaciones experimentales. El objetivo central es determinar la viabilidad técnica de estas fibras como alternativa al uso de la fibra de vidrio en la industria naval, evaluando su comportamiento mecánico, su resistencia y su durabilidad bajo condiciones similares a las del ambiente marino.

El estudio plantea la elaboración de láminas compuestas mediante la combinación de las fibras naturales con una matriz polimérica adecuada, aplicando procesos de tratamiento y compatibilización que mejoren la adherencia entre los componentes. Posteriormente, estas láminas se emplearán en la fabricación de un modelo experimental a escala del casco, sobre el cual se realizarán ensayos comparativos frente a un casco de fibra de vidrio convencional.

La propuesta busca demostrar que es posible desarrollar materiales compuestos sostenibles utilizando recursos naturales disponibles en el contexto local, sin comprometer las propiedades estructurales necesarias para garantizar la seguridad y funcionalidad de la embarcación. De igual manera, pretende sentar las bases para futuras

líneas de investigación orientadas al uso de materiales ecológicos en la construcción naval artesanal, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y al fortalecimiento de la innovación tecnológica regional.

Objetivo general

Evaluar comparativamente la viabilidad técnica de prototipos de casco a escala fabricados con resina poliéster reforzada con fibras de banano y coco, respecto a un prototipo de fibra de vidrio.

Objetivos específicos

1. Caracterizar geométrica e hidrostáticamente el modelo de casco mediante herramientas de modelado digital determinando sus dimensiones principales, superficie, desplazamiento, calado y demás parámetros hidrostáticos para una condición de carga definida.
2. Establecer las condiciones de preparación de las fibras de banano, coco y vidrio, así como las proporciones de fibra, resina y catalizador requeridas para la fabricación de los materiales compuestos.
3. Fabricar tres prototipos de casco reforzados con fibra de banano, fibra de coco y fibra de vidrio, mediante el proceso de laminado manual.
4. Realizar las pruebas empíricas de absorción y estabilidad de los prototipos realizados.
5. Comparar las características técnicas de los prototipos fabricados, considerando la composición de los materiales, la masa empleada, la configuración del refuerzo, el comportamiento observado durante la fabricación y las propiedades mecánicas referenciales de cada compuesto.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Concepto y funciones del casco

El casco es la envoltura exterior que constituye la parte esencial de una embarcación, permitiéndole flotar y desplazarse a través del agua. Es la superficie que interactúa directamente con el medio marino y aporta la estabilidad necesaria incluso en condiciones exigentes. Puede considerarse como la “capa protectora” del buque, pues evita la filtración de agua hacia el interior y soporta tanto el peso estructural como la carga transportada.

Para su construcción, el casco debe presentar la resistencia estructural necesaria para soportar el oleaje y las cargas ambientales, manteniendo al mismo tiempo una geometría ligera y eficiente que reduzca la resistencia al avance. Un diseño adecuado del casco resulta determinante para optimizar la velocidad, la maniobrabilidad y el rendimiento energético de la embarcación.

1.2. Tipos de casco

Según la información presentada por BoaterExam (s.f.), las embarcaciones pueden clasificarse de acuerdo con la forma de su casco, ya que esta geometría influye directamente en la estabilidad, el comportamiento en el agua, la capacidad de maniobra y el uso principal del barco. A partir de estas diferencias estructurales es posible identificar distintos tipos de cascos utilizados en la navegación recreativa y profesional.

1.2.1. Casco de fondo plano

Los cascos con fondo plano se caracterizan por ofrecer una plataforma muy estable, especialmente útil en zonas de aguas tranquilas y poco profundas. Debido a su forma simple y horizontal, estos cascos permiten que la embarcación permanezca firme,

lo que los hace adecuados para actividades como la pesca o recorridos breves en lagos y ríos calmados.

1.2.2. Casco de fondo redondeado

Las embarcaciones con casco redondeado están pensadas principalmente para desplazarse suavemente por el agua, ya que su curvatura reduce la resistencia al avance y facilita el movimiento. Sin embargo, al tener un contacto más reducido con la superficie, pierden estabilidad lateral, lo que exige precaución al momento de realizar maniobras de embarque, desembarque y el movimiento de los pesos dentro de la embarcación. Este tipo de casco es común en canoas y botes tradicionales.

1.2.3. Casco en forma de V

A veces llamado plano combado, el casco en V modificado es el más común para embarcaciones pequeñas, ya que combina algunas de las mejores características de otras formas. Las secciones más planas hacia la popa aportan estabilidad y mayor velocidad, al igual que un casco de fondo plano. El casco delantero en forma de cuña amortigua la navegación como un casco en V profunda, a la vez que repele las salpicaduras. Como la mayoría de las alternativas, un casco en V modificado no es la mejor opción en todas las condiciones, pero sí ofrece una buena solución para la mayoría de las necesidades de navegación familiar. Esto se debe a que nunca se sabe si se navegará por un lago tranquilo o se pescará en alta mar en un mar picado (Boats Group, 2023).

1.2.4. Multicasco

Las embarcaciones multicasco incorporan dos o más cascos unidos por una estructura común, lo que aumenta significativamente su estabilidad y les proporciona una plataforma amplia y equilibrada. Dependiendo del diseño, pueden funcionar como cascos de planeo o de desplazamiento. Estos barcos requieren más espacio para maniobrar, pero

ofrecen mayor seguridad y confort. Ejemplos típicos de este tipo son los catamaranes y pontones.

1.3. Principios fundamentales en la industria naval

1.3.1. Flotabilidad

La flotabilidad es una propiedad que permite que las embarcaciones se mantengan a flote y se desplacen sobre el agua. Este concepto es importante en la náutica, ya que influye en el diseño y funcionamiento de barcos y otras estructuras flotantes. El Principio de Arquimides establece que *“cualquier objeto total o parcialmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba equivalente al peso del fluido desplazado por el objeto”* (Nautic Adventure, 2025).

La flotabilidad se ve afectada por diversos factores, entre los que destacan:

- **Volumen sumergido del casco:** A mayor volumen, mayor empuje y, por tanto, mayor flotabilidad.
- **Distribución de la carga:** Una distribución incorrecta puede comprometer la flotabilidad y la estabilidad.
- **Densidad del agua:** La flotabilidad varía según el tipo de agua (dulce o salada) debido a diferencias en densidad.

1.3.2. Estabilidad

Según Marinos (2024) la estabilidad de una embarcación se define como la capacidad que tiene para recuperar su posición original después de haber sido inclinada por la acción de fuerzas externas, tales como el viento, el oleaje o la distribución de la carga. Este aspecto es fundamental para garantizar la seguridad durante la navegación.

- **Altura metacéntrica:** La estabilidad de una embarcación depende principalmente de la altura metacéntrica (GM), la cual se define como la distancia entre el centro de gravedad (G) y el metacentro (M). Esta relación permite determinar el comportamiento del buque frente a una inclinación.

Cuando el metacentro se encuentra por encima del centro de gravedad, la embarcación presenta estabilidad positiva, lo que significa que tiende a recuperar su posición de equilibrio. Por el contrario, si el metacentro se ubica por debajo del centro de gravedad, la estabilidad es negativa, lo que puede provocar el vuelco de la embarcación.

1.4. Tipos de estabilidad

La estabilidad puede clasificarse en dos tipos principales:

- **Estabilidad transversal:** Se presenta cuando la embarcación se inclina hacia los costados. Es la forma de estabilidad más relevante en condiciones normales de operación.
- **Estabilidad longitudinal:** Ocurre cuando la embarcación se inclina hacia proa o popa. Esta depende principalmente de la forma del casco y la distribución de pesos.

1.4.1. *Fuerzas que intervienen en la estabilidad*

Cuando una embarcación se inclina, actúan principalmente dos fuerzas: el peso, aplicado en el centro de gravedad, y el empuje hidrostático, aplicado en el centro de carena. Estas fuerzas generan un par que tiende a devolver la embarcación a su posición inicial, lo que se conoce como momento adrizante.

1.4.1.1. Francobordo

El francobordo es la distancia vertical medida en el centro del barco (sección maestra) desde la línea de flotación hasta la cubierta principal. Esta medida indica la reserva de flotabilidad, es decir, el volumen del casco que permanece por encima del agua y que contribuye a la seguridad de la embarcación.

1.4.1.2. Importancia y función del francobordo

Un francobordo mayor permite que la embarcación recupere su posición tras inclinarse por olas o fuertes vientos, actuando como un colchón de seguridad frente a posibles inundaciones. Por el contrario, un francobordo reducido disminuye esta protección y puede comprometer la estabilidad del barco.

El francobordo varía según la carga: cuando el buque se llena y su calado aumenta, el francobordo disminuye. Sobrecargar la nave puede eliminar gran parte de esta reserva de flotabilidad, poniendo en riesgo tanto la estabilidad como la seguridad de la tripulación (Embarcaciones de Pesca, s.f.).

1.5. Dimensiones en una embarcación

1.5.1. Eslora

La eslora de la embarcación se refiere a la longitud total del barco, medida desde el punto más extremo de la proa hasta el punto más extremo de la popa. Es una de las dimensiones más importantes de una embarcación, ya que influye directamente en su comportamiento en el agua, su capacidad, su uso y los requisitos legales asociados a su operación.

Figura 1

Longitud total del barco: Eslora



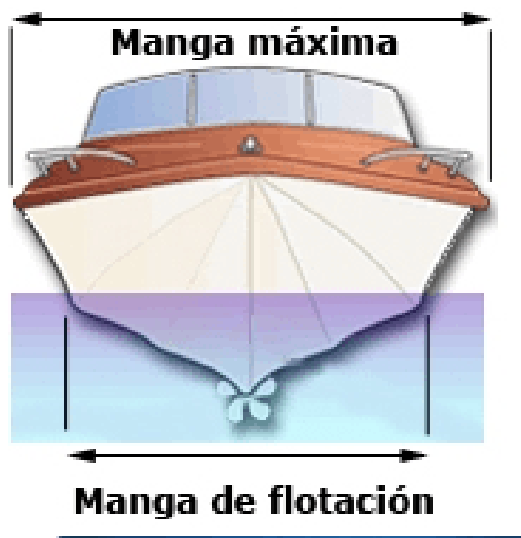
Fuente: Tomado de Ingeniería Marítima.

1.5.2. Manga

La manga de un barco se refiere al ancho máximo de la embarcación, medido en su parte más amplia, generalmente en la mitad de la eslora (la longitud del barco), esta no solo determina el tamaño físico del barco, sino que también influye significativamente en su estabilidad, velocidad, capacidad de carga y maniobrabilidad (Diario Naútico, 2024).

Figura 2

Manga de un barco



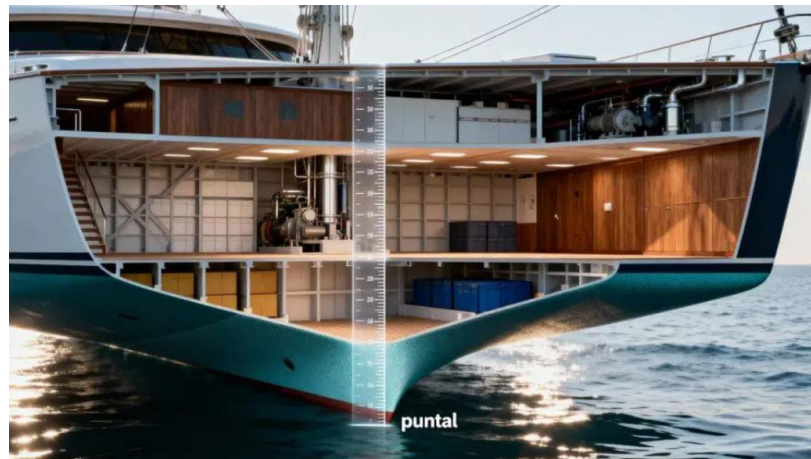
Fuente: Tomado de Navegantes Mallorca.

1.5.3. Puntal

El puntal no solo se considera una dimensión física, sino que también está relacionado con el concepto de francobordo, que es la distancia entre la línea de flotación y la cubierta principal. Un mayor puntal puede proporcionar más espacio interno, pero también influye en la altura del francobordo, lo que afecta la capacidad del barco para navegar en mares agitados. Por lo tanto, el puntal debe ser cuidadosamente planificado durante la etapa de diseño de una embarcación (Nautic Adventure, 2025).

Figura 3

Puntal de un barco



Fuente: Tomado de Nautica Adventure.

1.6. Esfuerzos que actúan sobre el casco de una embarcación

El casco de un buque está sometido a diversos tipos de esfuerzos estructurales como consecuencia de las fuerzas que actúan durante su operación en el medio marino. Los principales esfuerzos que se presentan son los siguientes:

1.6.1. Esfuerzos longitudinales verticales

Son aquellos originados por fuerzas que actúan en dirección vertical a lo largo de la eslora del buque. Estos esfuerzos se producen principalmente por la distribución del peso propio del buque y por la acción del empuje hidrostático, especialmente cuando el

buque navega entre olas, generando fenómenos como el quebranto (hogging) y el arrufo (sagging).

1.6.2. Esfuerzos longitudinales horizontales

Se deben a fuerzas que actúan horizontalmente a lo largo de la eslora, afectando las diferentes secciones del casco. Estos esfuerzos aparecen como resultado de acciones laterales, tales como presiones desiguales del agua o maniobras del buque, que provocan sollicitaciones longitudinales en sentido transversal al avance.

1.6.3. Esfuerzos de torsión

Este tipo de esfuerzo se produce cuando fuerzas actúan alrededor del eje longitudinal del buque, generando un giro o retorcimiento del casco. La torsión suele presentarse en condiciones de carga asimétrica, oleaje irregular o cuando una parte del buque está sometida a esfuerzos distintos a los del resto de la estructura.

1.7. Alcance de los esfuerzos estructurales

Los esfuerzos que actúan sobre el casco pueden manifestarse de dos maneras:

- **Esfuerzos estructurales:** Cuando afectan a la estructura global del buque en su conjunto.
- **Esfuerzos locales:** Cuando se concentran en zonas específicas del casco, como refuerzos, mamparos, cubiertas o áreas sometidas a cargas puntuales.

1.8. Origen de los esfuerzos

Desde el punto de vista de su origen, los esfuerzos pueden clasificarse en:

Las acciones internas están asociadas a la propia configuración y operación del buque, y provienen principalmente de la distribución de los pesos a bordo, tales como el peso estructural del casco, los equipos, el combustible, el lastre y la carga transportada.

Una distribución inadecuada de estos pesos puede generar concentraciones de esfuerzos que afectan el comportamiento estructural del buque.

Por otro lado, **las acciones externas** se originan por la interacción del buque con el medio marino. Entre ellas se incluyen el empuje hidrostático, la acción del oleaje, las presiones del agua sobre el casco y los impactos externos. Estas acciones varían en función de las condiciones de navegación y son responsables de sollicitaciones dinámicas significativas sobre la estructura.

1.9. Fuerzas que actúan sobre el casco del buque

Las fuerzas que actúan sobre el casco de un buque pueden clasificarse en fuerzas estáticas y fuerzas dinámicas, según las condiciones en las que se manifiestan y el comportamiento del buque.

1.9.1. *Fuerzas estáticas*

Las fuerzas estáticas actúan cuando el buque se encuentra en condiciones de reposo relativo, como durante su permanencia en puerto, varadero o dique. Estas fuerzas dependen principalmente de los pesos a bordo y de su distribución longitudinal y transversal, tales como combustible, lastre y carga. Las variaciones en dicha distribución pueden generar esfuerzos estructurales y momentos flectores en el casco.

Las principales fuerzas estáticas son:

- Los pesos propios del buque y de la carga transportada.
- El empuje del agua, tanto en condiciones de aguas tranquilas como en presencia de oleaje.
- Las fuerzas mecánicas externas, tales como presiones ejercidas por los picaderos, colisiones o impactos accidentales.

1.9.2. Fuerzas dinámicas

Las fuerzas dinámicas tienen carácter oscilatorio y actúan cuando el buque se encuentra en movimiento. Estas fuerzas varían en el tiempo y se originan tanto por el propio comportamiento dinámico del buque como por la interacción con el entorno marino.

Se distinguen dos tipos de fuerzas dinámicas:

- **Fuerzas dinámicas internas**, asociadas a las aceleraciones del buque durante su movimiento.
- **Fuerzas dinámicas externas**, producidas por la acción del viento, las corrientes y el oleaje.

Las fuerzas externas actúan de manera asincrónica respecto a las fuerzas internas, por ejemplo, las altas frecuencias pueden provocar movimientos rápidos del buque y viceversa en varios grados de libertad. Además, supongamos que la frecuencia de cualquier movimiento ondulatorio coincide con la frecuencia estructural natural del buque, esto puede causar resonancia, lo que provoca movimientos bruscos e irregularidades en el casco de la embarcación (Ghosh, 2022).

1.10. Tipos de Fibras locales

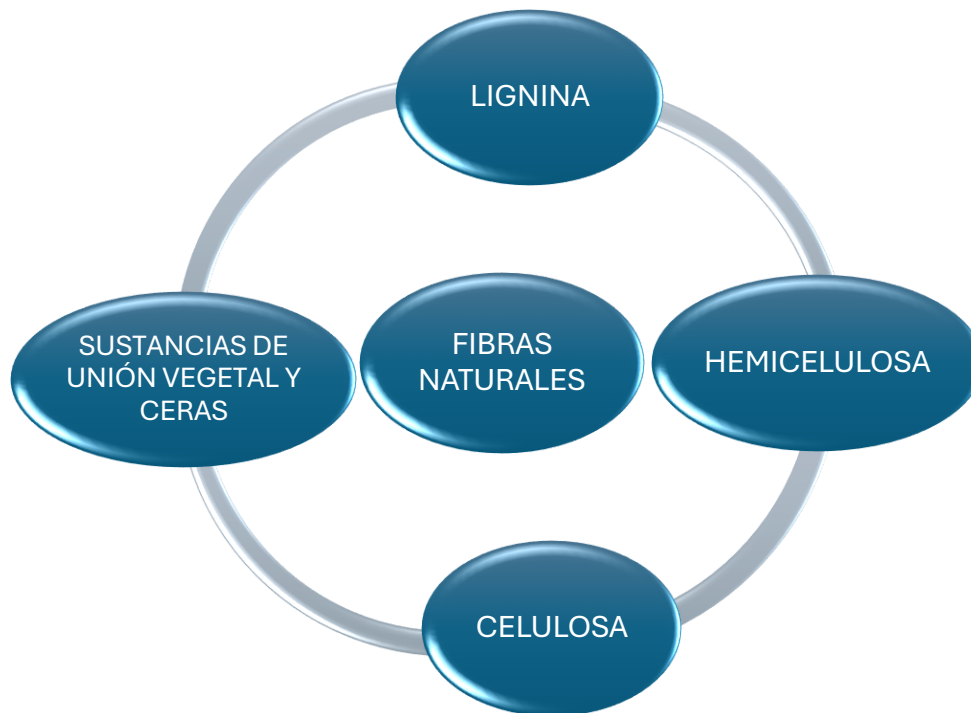
El estudio de Dabrowska (2022) explica lo siguiente:

Las fibras pueden extraerse directamente de cultivos específicos (p. ej., lino, cáñamo) o de desechos agrícolas (hojas de piña, cáscaras de coco). Todos los pasos de cultivo y producción determinarán las propiedades de los productos finales, además, la parte de la planta utilizada influye en su comportamiento: semillas, frutos, hojas, tallos, etc.). En particular, deben tenerse en cuenta las propiedades de tracción y la alta resistencia específica. Las fibras naturales también tienen una relación de aspecto

favorable y una baja densidad. El rendimiento de las fibras de celulosa depende en gran medida de la proporción y de la interacción entre la **celulosa**, la **hemicelulosa** y la **lignina**.

Figura 4

Fibras Naturales



Fuente: Elaboración propia a partir del estudio de Dabrowska, 2022.

La **celulosa** es un biopolímero estructural constituido únicamente por unidades de glucosa enlazadas entre sí, organizadas en cadenas largas y lineales que proporcionan alta resistencia mecánica. Además, es la biomolécula orgánica más abundante en la naturaleza, ya que representa una fracción significativa de la biomasa terrestre.

La **hemicelulosa** corresponde a un conjunto de polisacáridos compuestos por distintos azúcares simples. Su estructura presenta cadenas más cortas y ramificadas, lo que influye en el comportamiento térmico del material y contribuye a una mayor

estabilidad frente a procesos de degradación, así como a una menor sensibilidad a la radiación ultravioleta en comparación con otros componentes.

Por su parte, la **lignina** es un polímero orgánico complejo con una estructura tridimensional altamente entrelazada, presente en la pared celular vegetal, especialmente en la madera y la corteza. Este componente cumple un papel fundamental al aportar rigidez estructural, disminuir la absorción de humedad y mejorar la resistencia frente a la degradación biológica y a las condiciones ambientales.

1.10.1. Fibra de coco

1.10.1.1. Composición y características

La fibra de coco es un material natural que se obtiene de la cáscara externa del fruto y se destaca por su resistencia, durabilidad y adaptabilidad en distintos usos. Esta fibra posee una composición única que la hace versátil en aplicaciones agrícolas, industriales y artesanales. Existen principalmente dos tipos de fibra: la fibra marrón, proveniente de cocos maduros, que es más gruesa, rígida y con mayor contenido de lignina; y la fibra blanca, obtenida de cocos jóvenes, que es más delgada, flexible y con mayor cantidad de celulosa. Estas diferencias influyen en el uso final de cada tipo, ya que la fibra marrón suele emplearse en tapicería, rellenos y productos de soporte, mientras que la fibra blanca se utiliza con más frecuencia en la fabricación de cuerdas y textiles. (Sprig, 2023)

1.10.1.2. Propiedades físicas y composición química

La fibra de coco presenta una densidad que oscila entre 1,2 y 1,5 g/cm³ y un diámetro de fibra comprendido entre 150 y 250 µm. Desde el punto de vista químico, se caracteriza por un contenido de celulosa que varía entre 32 y 43 %, un contenido muy reducido de hemicelulosa, entre 0,2 y 0,3 %, y una elevada proporción de lignina, situada entre 40 y 45 %. Esta alta concentración de lignina confiere a la fibra de coco una mayor

rigidez, durabilidad y resistencia a la humedad, lo que la hace especialmente adecuada para aplicaciones donde se requiere resistencia al deterioro ambiental y capacidad de absorción de energía.

1.10.1.3. Propiedades mecánicas

Desde el punto de vista mecánico, la fibra de coco presenta una resistencia a la tracción que varía aproximadamente entre 95 y 593 MPa, dependiendo del origen y las condiciones de extracción. Su módulo elástico se sitúa en un rango relativamente bajo, entre 2,8 y 6,0 GPa, lo que indica una rigidez moderada en comparación con otras fibras naturales. La elongación a la rotura es elevada, con valores comprendidos entre 15 y 51,4%, lo que evidencia una alta capacidad de deformación antes del fallo. Estas características, junto con su resistencia específica aproximada de $1,5 \text{ MN}\cdot\text{m/kg} \times 10^{-3}$, hacen que la fibra de coco sea especialmente adecuada para aplicaciones donde se requiere absorción de energía y tenacidad.

1.10.2. Fibra de banano

1.10.2.1. Composición y características

La planta de banano no es considerada un árbol, ya que posee un sistema de raíces poco profundas y un pseudotallo formado por vainas foliares compactadas que crecen de manera vertical, lo que constituye su falso tallo característico. La calidad de la fibra depende en gran medida de su durabilidad y de las condiciones en las que se almacena antes de ser procesada. En este sentido, estudios sobre fibras naturales han señalado que *“el almacenamiento adecuado puede conservar la fibra hasta por tres meses”* (MARISOL, 2023).

1.10.2.2. Propiedades físicas y composición química

La fibra de banano se caracteriza por una densidad comprendida entre 0,7 y 1,35 g/cm³ y un contenido de humedad relativamente bajo, situado entre 8 y 10 %. El diámetro

de las fibras varía entre 100 y 250 μm . En cuanto a su composición química, presenta un elevado contenido de celulosa, entre 63 y 64 %, acompañado de aproximadamente 19 % de hemicelulosa y un bajo contenido de lignina, cercano al 5 %. Esta elevada proporción de celulosa contribuye a sus buenas propiedades mecánicas, mientras que el bajo contenido de lignina influye en su menor rigidez en comparación con otras fibras naturales.

1.10.2.3. Propiedades mecánicas

En términos mecánicos, la fibra de banano presenta una resistencia a la tracción en un amplio rango que oscila entre 54 y 914 MPa, lo que refleja una notable variabilidad asociada al método de extracción y a las condiciones de procesamiento. El módulo elástico se encuentra entre 7,7 y 32,0 GPa, indicando una rigidez intermedia dentro del conjunto de fibras naturales. La elongación a la rotura varía entre 1,0 y 9,0 %, lo que muestra un comportamiento relativamente frágil en comparación con fibras de mayor ductilidad. La resistencia específica de la fibra de banano se sitúa alrededor de $2,6 \text{ MN}\cdot\text{m/kg} \times 10^{-3}$, lo que la posiciona como un refuerzo competitivo en el desarrollo de materiales compuestos ligeros.

1.11. Tipos de Resinas

Entre las diferentes resinas que se pueden utilizar en el medio Reich (2014) describe las siguientes:

1.11.1. Resinas de poliéster y viniléster

Las resinas de poliéster y viniléster son a base de estireno y se catalizan con peróxido de metiletilcetona (MEKP), que inicia la reacción de endurecimiento. Los vinilésteres suelen ser más resistentes a la absorción de agua que los poliésteres, por lo que se utilizan a menudo en la reparación de ampollas en el casco. Ambos son muy

resistentes (la mayoría de las embarcaciones de fibra de vidrio actuales se moldean y construyen con uno u otro); presentan buenas propiedades adhesivas cuando se aplican a la fibra de vidrio bien preparada; y son asequibles para la mayoría de los navegantes (aunque los vinilésteres son más caros).

La resina de poliéster es un buen material multiusos para realizar reparaciones de embarcaciones de fibra de vidrio.

1.11.2. Resinas epoxi

Las resinas epoxi se diferencian de las resinas de poliéster y viniléster en más de un sentido, pero el más fácil de reconocer es la forma en que se catalizan. Con las resinas epoxi, siempre se utiliza una proporción de resina a endurecedor de 2:1, pero se utilizan diferentes endurecedores para que se curen más rápido o más lento. Utilice un endurecedor "lento" cuando haga calor afuera o necesite más tiempo de trabajo, o uno "rápido" cuando haga frío afuera y necesite que la reparación se cure lo antes posible. Las resinas epoxi tienen una gran resistencia a la absorción de humedad, resistencia a la abrasión y excelentes cualidades adhesivas o de "encolado". Una desventaja de las resinas epoxi es el precio; son aproximadamente tres o cuatro veces más caras que las resinas de poliéster.

1.11.3. ECO-Resinas

Las eco-resinas, también conocidas como bioresinas o resinas verdes, son polímeros termoestables producidos a partir de materias primas renovables como aceites vegetales, almidones o fibras naturales. Su uso ha aumentado en los últimos años debido a que generan un impacto ambiental menor y una reducción significativa de la huella de carbono en comparación con las resinas convencionales derivadas del petróleo.

En general, estas resinas sostenibles se obtienen a partir de monómeros de origen vegetal, entre los que destacan el aceite de soja obtenido a partir de un proceso químico llamado epoxidación, el aceite de linaza y el aceite de ricino. Además, pueden incluir otros componentes biodegradables como celulosa, fibras naturales (lino, cáñamo, yute) y biopolímeros como el PLA (ácido poliláctico). En ciertos casos, las eco-resinas incorporan mezclas de compuestos biobasados con pequeñas fracciones de derivados del petróleo con el fin de optimizar su desempeño mecánico y térmico. (Domestika, 2023)

1.12. Materiales Compuestos

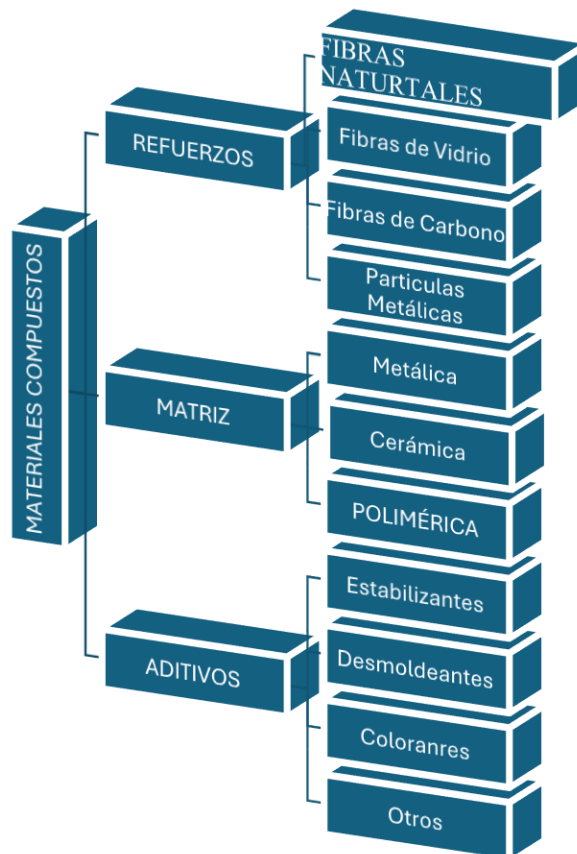
Los materiales compuestos se entienden como la unión de dos sustancias con propiedades físicas y químicas distintas, cuya combinación genera un material con características superiores a las de sus componentes por separado. Este tipo de materiales puede presentar mayor resistencia, menor peso o mejor comportamiento frente a esfuerzos mecánicos, ya que se formula específicamente para cumplir funciones donde se requiera alta eficiencia, durabilidad o rigidez. En este contexto, el término “compuesto” hace referencia a una matriz generalmente polimérica dentro de la cual se integran fibras reforzantes que proporcionan la capacidad estructural. Aunque un conjunto de fibras aisladas posee poca estabilidad, su desempeño mejora notablemente cuando se encuentran embebidas en una matriz que las cohesiona y distribuye las cargas (Infinitia Research, 2022).

En función del tipo de refuerzo incorporado, los compuestos pueden integrar fibras de carbono, vidrio, aramida o fibras de origen natural. Entre estos, los materiales compuestos con matriz polimérica reforzada con fibras se emplean ampliamente debido a su ligereza y su adecuado comportamiento mecánico. Estas propiedades permiten que sustituyan a materiales convencionales, especialmente metálicos, en aplicaciones donde

la relación resistencia-peso es determinante para reducir costos y mejorar el rendimiento operativo (Infinitia Research, 2022).

Figura 5

Materiales Compuestos



Fuente: Elaboración propia.

1.13. Molde o superficie de conformación

En la teoría de fabricación de cascos, el molde es el elemento que define la forma externa o interna del casco. Su función es:

- Proporcionar la geometría deseada.
- Asegurar una superficie lisa y continua.
- Facilitar la colocación de capas de fibra y resina.

Los moldes pueden ser positivos (forma exterior) o negativos (forma interior), dependiendo del nivel de detalle requerido. En prototipos o trabajos experimentales, se emplean moldes simples de madera, espuma o incluso estructuras improvisadas que permitan estudiar el comportamiento del material.

1.14. Preparación de fibras naturales

Las fibras vegetales requieren un tratamiento previo para mejorar su adhesión y su comportamiento dentro del compuesto. Teóricamente, esta preparación puede incluir:

- **Secado** para reducir la humedad natural.
- **Corte o disposición** en forma de mantas, tejidos o fibras sueltas.
- **Orientación** en la dirección de los esfuerzos principales del casco.

La orientación de las fibras es fundamental: según la teoría de compuestos, la resistencia mecánica es mayor cuando las fibras están alineadas con la dirección de las cargas.

1.15. Métodos de fabricación de materiales compuestos

1.15.1. Laminado manual (Hand Lay-Up)

El laminado manual es uno de los métodos más utilizados en la fabricación de materiales compuestos, especialmente en aplicaciones de baja escala o de carácter experimental. Este proceso consiste en la colocación manual de capas de material de refuerzo sobre un molde, seguido de la aplicación de una resina que permite la unión y consolidación del sistema. Entre los equipos y herramientas empleados en este proceso se incluyen moldes abiertos (fabricados en madera, metal o materiales poliméricos), brochas, rodillos de impregnación y recipientes para la mezcla de la resina. En algunos casos, también se utilizan rodillos compactadores para mejorar la adherencia entre capas

y reducir la presencia de aire atrapado. Este método se caracteriza por su bajo costo, facilidad de aplicación y adaptabilidad a diferentes geometrías, lo que lo convierte en una alternativa viable para la fabricación de prototipos. Sin embargo, puede presentar limitaciones relacionadas con la uniformidad del material y la posible formación de vacíos si no se controla adecuadamente el proceso (Omnis Compozit, 2025).

1.15.2. Infusión al vacío

La infusión al vacío es una técnica de fabricación que permite mejorar la calidad del material compuesto mediante la aplicación de presión negativa. En este proceso, el refuerzo se coloca sobre el molde y se cubre con una bolsa hermética, a través de la cual se extrae el aire, facilitando la entrada y distribución uniforme de la resina. Para su aplicación se requieren equipos como una bomba de vacío, mangueras de distribución, válvulas de control, bolsas de vacío y materiales auxiliares como mallas de flujo y telas separadoras. Estos elementos permiten controlar el ingreso de la resina y mejorar la compactación del material. Este método permite obtener materiales con menor contenido de porosidad, mejor compactación y una mayor relación resistencia-peso. Sin embargo, su implementación implica un mayor nivel técnico y el uso de equipos adicionales en comparación con el laminado manual (Rogers, 2021).

1.15.3. Moldeo por compresión

El moldeo por compresión es un proceso en el cual el material compuesto se coloca dentro de un molde cerrado y es sometido a presión para adquirir la forma deseada. Este método permite una adecuada consolidación del material y una distribución más uniforme de la resina en el refuerzo. Los equipos utilizados incluyen prensas hidráulicas o mecánicas, moldes metálicos de alta resistencia y sistemas de control de presión y temperatura. Estos equipos permiten obtener piezas con alta calidad y repetibilidad en su fabricación. Es comúnmente utilizado en aplicaciones que requieren componentes con

alta resistencia mecánica; sin embargo, su uso está más asociado a procesos industriales debido al costo y complejidad de los equipos requeridos (The Welding Institute, s.f.).

1.15.4. Moldeo por transferencia de resina (RTM)

El moldeo por transferencia de resina consiste en la inyección de resina dentro de un molde cerrado que contiene previamente el material de refuerzo seco. Este método permite un mayor control sobre la cantidad y distribución de la resina, lo que contribuye a mejorar la calidad del material final. Para este proceso se emplean equipos como sistemas de inyección de resina, moldes cerrados, bombas de presión y sistemas de sellado. Estas herramientas permiten controlar el flujo de la resina y garantizar una adecuada impregnación del refuerzo. El RTM es ampliamente utilizado en la industria para la fabricación de componentes con alta precisión; sin embargo, su aplicación en proyectos experimentales es limitada debido a la necesidad de equipos especializados. (Brigada, 2021)

1.16. Curado del material compuesto

El curado es el proceso mediante el cual la resina polimeriza y alcanza sus propiedades finales. Según la teoría de resinas termoestables:

- Ocurre a temperatura ambiente o con calor adicional.
- La velocidad de curado depende del tipo de resina y del endurecedor.
- Un curado adecuado garantiza que el casco obtenga la rigidez y cohesión necesarias.

Un mal curado produce fragilidad, mala adherencia o fallas prematuras.

1.17. Desmoldeo y acabados superficiales

Una vez finalizado el curado, se retira el casco del molde. Teóricamente, los acabados superficiales cumplen funciones importantes:

- Sellar poros que puedan permitir la absorción de humedad.
- Mejorar la resistencia a la abrasión.
- Proteger contra la radiación UV y el ambiente marino.

En la construcción de cascos experimentales con fibras naturales, estos acabados son esenciales debido a su tendencia a absorber agua.

1.18. Normas aplicables

Tabla 1

Normas ASTM aplicable a los ensayos

Norma ASTM	Tipo de prueba	Qué mide	Importancia para el casco
D638	Tracción	Resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, elongación a la rotura	Permite evaluar cuánto puede soportar el casco antes de deformarse o romperse bajo cargas longitudinales.
D790	Flexión	Resistencia y módulo de flexión	Evalúa la rigidez del casco frente a fuerzas que lo doblan, como olas y peso de la carga.
D256	Impacto (Izod o Charpy)	Energía absorbida antes de fractura	Mide la tenacidad y capacidad del casco de absorber impactos, útil para golpes o vibraciones en navegación.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO II PROCESO METODOLÓGICO DE ELABORACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

2.1 Descripción general del prototipo

El presente proyecto contempla el uso un modelo de casco de embarcación previamente definido, el cual fue importado y trabajado en un entorno de modelado tridimensional con fines de análisis, ajuste dimensional y validación geométrica.

Los modelos representan un casco de embarcación menor, diseñado para aplicaciones artesanales, y fue adaptado para su uso como prototipo experimental en la evaluación de materiales compuestos reforzados con fibras orgánicas.

El uso de un modelo base permite centrar la investigación en el comportamiento estructural del material, sin necesidad de desarrollar una geometría naval desde cero.

2.2 Modelado, preparación digital y análisis

El modelo del casco fue manipulado mediante el software Tinkercad, el cual permitió:

- Ajustar dimensiones del modelo
- Verificar proporciones geométricas
- Analizar la forma del casco
- Preparar el archivo para su posible fabricación

El entorno digital facilitó la visualización tridimensional del casco, permitiendo identificar sus características estructurales y geométricas.

2.2.1. Dimensiones del prototipo

Las dimensiones del modelo fueron obtenidas directamente del software de modelado, garantizando precisión en las medidas.

Se determinaron las siguientes dimensiones:

- **Eslora (longitud):** 496.26 mm (≈ 0.50 m)
- **Manga (ancho):** 147.40 mm (≈ 0.15 m)
- **Puntal (altura):** 87.43 mm (≈ 0.09 m)

2.2.2. Geometría del casco

La geometría del casco presenta una configuración simplificada, adecuada para su fabricación mediante materiales compuestos.

Se identifican los siguientes elementos:

- **Proa:** Parte frontal del casco, con forma puntiaguda, diseñada para reducir la resistencia al avance.
- **Popa:** Zona posterior del casco, con geometría más plana, lo que facilita la estabilidad y fabricación.
- **Fondo en V:** Superficie inferior con inclinación moderada que permite mejorar el comportamiento dinámico en el agua.
- **Costados:** Superficies laterales con ligera inclinación que contribuyen a la estabilidad transversal.
- **Borda:** Parte superior del casco, que delimita la altura estructural y evita la entrada de agua.

2.2.3. Análisis de la relación de dimensiones

Las relaciones entre las dimensiones principales del casco constituyen un criterio fundamental en el diseño de embarcaciones, ya que permiten evaluar su comportamiento hidrodinámico y estabilidad.

Estas relaciones se basan en principios de la arquitectura naval, derivados de estudios experimentales y del comportamiento real de embarcaciones.

En el presente caso, se obtuvo:

$$L/B \approx 3.3$$

Siendo:

- L = Length = Eslora
- B = Beam = Manga
- D = Depth = Puntal

Lo cual indica una embarcación alargada con un equilibrio adecuado entre estabilidad y eficiencia en el desplazamiento.

Asimismo:

$$D/B \approx 0.6$$

Lo cual sugiere una altura suficiente para garantizar flotabilidad y evitar el ingreso de agua, manteniendo condiciones adecuadas de estabilidad.

Por lo tanto, las proporciones del casco son coherentes con diseños de embarcaciones pequeñas, validando su uso como prototipo experimental.

2.2.4. Análisis hidrostático del prototipo

El análisis hidrostático del prototipo se realizó mediante el software MaxSurf, utilizando el modelo digital del casco con dimensiones aproximadas de 0,50 m de eslora, 0,15 m de manga y 0,09 m de puntal. Para el cálculo se estableció una condición de flotación correspondiente a un calado de 0,035 m y se utilizó una precisión media de discretización, conformada por 68 estaciones a lo largo del casco.

A partir de la geometría sumergida, el programa calculó los principales parámetros hidrostáticos: volumen desplazado, desplazamiento, eslora y manga en la línea de

flotación, superficie mojada, área del plano de flotación, coeficientes de forma, posición de los centros de carena y flotación, así como las alturas KB , BM y KM . También se obtuvo la distribución de las áreas superficiales del modelo, cuya superficie total fue de $0,116 \text{ m}^2$.

Este procedimiento permitió caracterizar teóricamente el comportamiento de flotación asociado a la geometría común de los tres prototipos.

2.3 Materiales

2.3.1. Refuerzo natural

Se emplearon fibras de coco y fibras de banano en prototipos independientes. Su selección responde a su disponibilidad local, bajo costo y potencial de reducción de impacto ambiental. Ambas presentan baja densidad y capacidad de refuerzo cuando se integran en una matriz polimérica.

2.3.2. Matriz polimérica

Se utilizó resina poliéster como matriz del material compuesto por su facilidad de procesamiento, tiempos de curado adecuados y compatibilidad con el proceso de laminado manual. Para promover el endurecimiento de la resina, se empleó un catalizador, el cual permitió la reacción de polimerización necesaria para la formación del material compuesto.

De forma alternativa, la **resina epóxica** podrá considerarse cuando se requieran mejores propiedades mecánicas y de adherencia entre la matriz y el material de refuerzo.

2.3.3. Material de referencia

Se considera la fibra de vidrio como material de referencia, debido a su uso extendido en la construcción de cascos. Su inclusión permite establecer una base comparativa en términos de resistencia, peso, durabilidad y costo.

2.3.4. Configuración estructural

Cada casco se plantea como un laminado de múltiples capas del refuerzo seleccionado, impregnadas con resina. Se define un rango de tres a cinco capas para alcanzar un espesor que proporcione rigidez suficiente sin penalizar el peso.

La disposición del refuerzo se realizó de manera distribuida para mejorar la respuesta frente a esfuerzos de tracción y flexión, reduciendo la concentración de tensiones y favoreciendo la integridad del conjunto.

2.4 Proceso de fabricación propuesto: Laminado manual (Hand Lay-Up)

Se adopta el proceso de laminado manual en molde abierto por su accesibilidad y control directo del material. Consiste en la colocación de capas de fibra sobre el molde y su impregnación con resina mediante herramientas manuales, seguida de una compactación para disminuir vacíos y mejorar la adhesión entre capas.

Este método no requiere equipamiento industrial, permite trabajar con fibras naturales y es adecuado para la fabricación de prototipos, manteniendo coherencia con los recursos disponibles del proyecto.

2.5 Criterios de evaluación y viabilidad naval

La viabilidad naval de los materiales propuestos se evaluará considerando:

- **Resistencia mecánica** frente a cargas de servicio (tracción y flexión).
- **Peso del laminado**, relevante para la flotabilidad y eficiencia.
- **Comportamiento frente a la humedad**, debido a la exposición en ambientes marinos.
- **Integridad estructural**, asociada a la adherencia fibra–resina y la presencia de vacíos.

2.6 Organización del proceso de fabricación

En esta etapa se planificó el desarrollo de los prototipos, tomando en cuenta los materiales seleccionados, el método de fabricación y las condiciones necesarias para su correcta ejecución.

Se definieron previamente los recursos y herramientas requeridas, así como el espacio de trabajo, con el fin de garantizar un proceso adecuado para la manipulación de las fibras naturales, fibra de vidrio y la resina.

2.7 Caracterización geométrica e hidrostática del modelo de casco

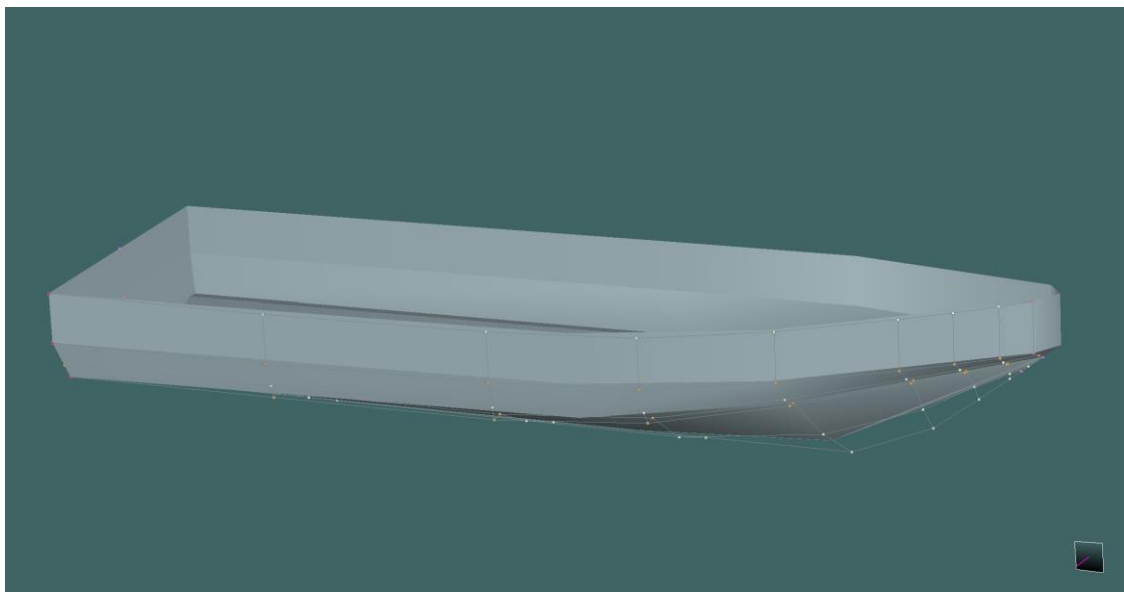
En correspondencia con el primer objetivo específico, se realizó la caracterización geométrica e hidrostática del modelo de casco mediante herramientas de diseño digital. Los resultados incluyeron la representación tridimensional del casco, la determinación de sus dimensiones principales, el análisis de su superficie y la obtención de los parámetros hidrostáticos correspondientes a una condición de calado de 0,035 m.

El modelado tridimensional permitió representar la configuración general del prototipo y verificar la continuidad de sus superficies. El casco presentó una proa afinada, una popa de geometría relativamente plana, costados inclinados y un fondo en V moderada. Estas características facilitaron su posterior reproducción mediante molde y laminado manual.

En las siguientes figuras se presentan la perspectiva tridimensional, la caja de cuadernas, las líneas longitudinales y las líneas de agua generadas durante el proceso de modelado.

Figura 6

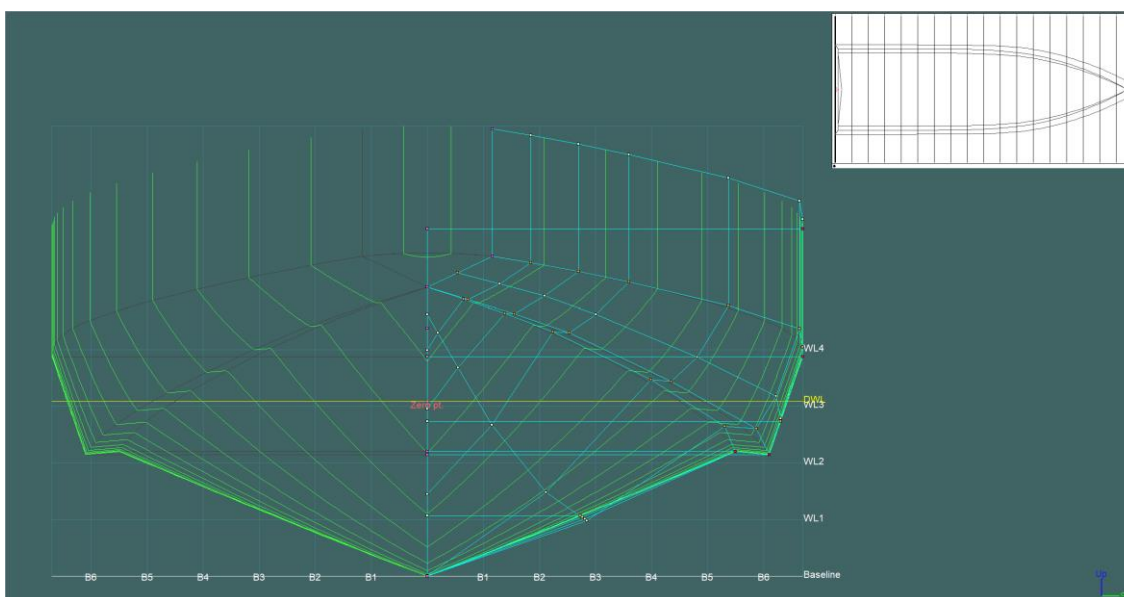
Perspectiva del prototipo modelado



Fuente: Elaboración propia mediante modelado digital.

Figura 7

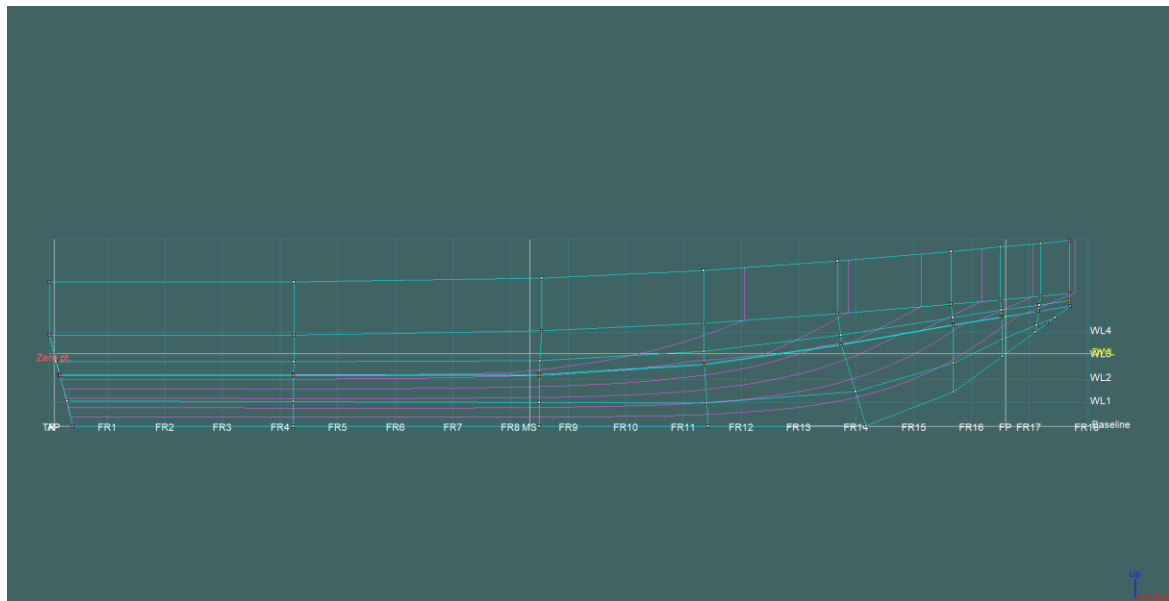
Caja de cuadernas del modelo de casco



Fuente: Elaboración propia mediante modelado digital.

Figura 8

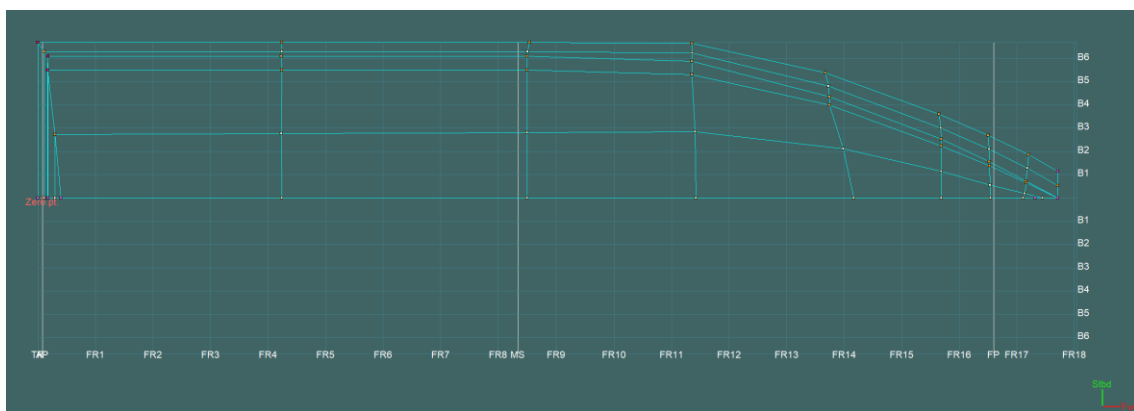
Líneas longitudinales y líneas de agua del modelo.



Fuente: Elaboración propia mediante modelado digital.

Figura 9

Líneas de agua del modelo



Fuente: Elaboración propia mediante modelado digital.

En cuanto los resultados del análisis hidrostático para la condición analizada se estableció un calado de 0,035 m. A este calado, MaxSurf determinó un volumen sumergido de 0,001 m³ y un desplazamiento de 0,0011 t, equivalente aproximadamente a 1,1 kg. Este desplazamiento corresponde a la condición específica modelada y no debe interpretarse como la capacidad máxima de carga del prototipo.

La eslora en la línea de flotación fue de 0,458 m, equivalente aproximadamente al 91,6 % de la eslora total utilizada en MaxSurf. La manga en flotación alcanzó 0,144 m, correspondiente aproximadamente al 96 % de la manga total. Esto muestra que, para el calado analizado, una parte considerable de la longitud y el ancho del casco intervino en la flotación.

El coeficiente de bloque de 0,452 evidenció que el volumen sumergido representó aproximadamente el 45,2 % del volumen del paralelepípedo definido por la eslora, manga y calado en flotación. Este resultado es coherente con un casco de fondo en V y proa afinada, cuya geometría no ocupa completamente el volumen rectangular de referencia.

El coeficiente prismático de 0,766 reflejó la distribución longitudinal del volumen sumergido, mientras que el coeficiente de sección media de 0,591 representó el grado de llenura de la sección transversal de mayor área. Por otra parte, el coeficiente del plano de flotación de 0,819 indicó que el área de flotación ocupó una proporción elevada del rectángulo definido por la eslora y manga en flotación.

El centro longitudinal de carena se ubicó a 0,184 m del punto de referencia y el centro longitudinal de flotación a 0,192 m. La diferencia entre ambas posiciones fue de 0,008 m, lo que evidenció proximidad entre el centro del volumen sumergido y el centro geométrico del plano de flotación para la condición analizada.

Tabla 2

Parámetros hidrostáticos del modelo para un calado de 0,035 m

Parámetro	Símbolo	Resultado	Unidad
Desplazamiento	(Δ)	0,0011	t
Volumen desplazado	(∇)	0,001	m ³
Calado medio	(T)	0,035	m
Profundidad sumergida	—	0,035	m

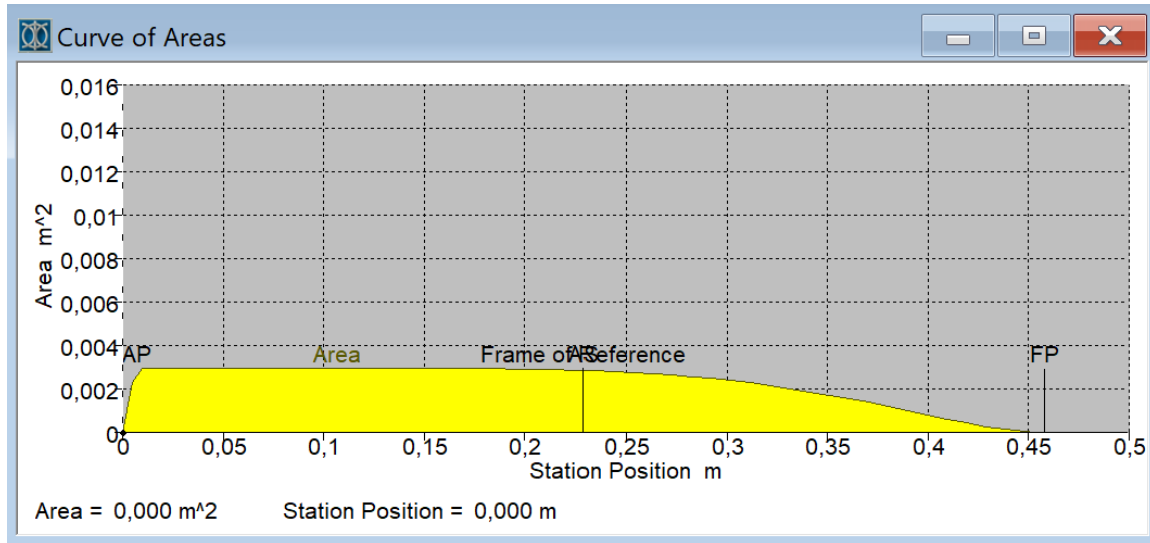
Eslora en flotación	(LWL)	0,458	m
Manga máxima en flotación	(BWL)	0,144	m
Superficie mojada	(S _w)	0,067	m ²
Área máxima de sección	(A _m)	0,003	m ²
Área del plano de flotación	(A _{wp})	0,054	m ²
Coeficiente prismático	(C _p)	0,766	—
Coeficiente de bloque	(C _b)	0,452	—
Coeficiente de sección media	(C _m)	0,591	—
Coeficiente del plano de flotación	(C _{wp})	0,819	—
Centro longitudinal de carena	(LCB)	0,184	m
Centro longitudinal de flotación	(LCF)	0,192	m
Altura del centro de carena	(KB)	0,023	m
Radio metacéntrico transversal	(BM _t)	0,077	m
Radio metacéntrico longitudinal	(BM _L)	0,687	m
Altura metacéntrica transversal	(KM _t)	0,100	m
Altura metacéntrica longitudinal	(KM _L)	0,711	m
Relación eslora-manga en flotación	(LWL/BWL)	3,182	—
Relación manga-calado	(BWL/T)	4,111	—
Relación eslora-volumen	(L/ $\nabla^{1/3}$)	4,516	—
Precisión del análisis	—	Media, 68 estaciones	—

Fuente: Resultados generados mediante MaxSurf.

Por otra parte, en la Figura 10 se observa la curva de áreas, que representa la variación de las áreas de las secciones transversales sumergidas a lo largo de la eslora del casco. El eje horizontal corresponde a la posición de las estaciones, desde la perpendicular de popa *AP* hasta la perpendicular de proa *FP*, mientras que el eje vertical representa el área sumergida de cada sección en metros cuadrados.

Figura 10

Curva longitudinal de áreas sumergidas del modelo para un calado de 0,035 m



Fuente: Resultados generados mediante MaxSurf.

La Figura 10 muestra que el área transversal sumergida aumentó rápidamente desde la perpendicular de popa hasta alcanzar aproximadamente 0,003 m². Esta área se mantuvo relativamente constante en la zona posterior y central del casco. A partir de aproximadamente 0,23 m, correspondiente a la zona próxima a la sección media de referencia, el área disminuyó progresivamente hasta acercarse a cero en la perpendicular de proa, ubicada aproximadamente en 0,458 m.

La forma de la curva evidenció una mayor concentración del volumen sumergido en las zonas posterior y central, seguida de una reducción gradual hacia la proa. Este comportamiento fue consistente con la geometría observada en el modelo tridimensional: popa relativamente plana, zona central de mayor sección y proa afinada. La reducción progresiva de las áreas también mostró una transición geométrica continua, sin cambios abruptos entre las secciones del casco.

CAPITULO III. FABRICACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

3.1 Condiciones de preparación y fabricación de los prototipos

El molde utilizado para la fabricación del casco fue preparado a partir del modelo previamente definido en el entorno digital (impresión 3D). Antes de iniciar el laminado, se realizó un acondicionamiento de su superficie para facilitar el proceso. Se aplicó un agente desmoldante con el propósito de evitar que el material compuesto se adhiriera al molde, permitiendo una extracción segura del prototipo una vez finalizado el curado.

Figura 11

Desmoldante



Nota. Proceso de elaboración del prototipo.

3.3.1. Preparación de los materiales

Preparación de las fibras naturales

Las fibras de coco y de banano fueron tratadas por separado para cada uno de los prototipos.

1. **Limpieza de las fibras:** Se eliminaron impurezas y residuos presentes en la superficie de las fibras para mejorar su adherencia con la resina.
2. **Secado:** Las fibras fueron expuestas al ambiente hasta eliminar la humedad, evitando interferencias en el proceso de impregnación.
3. **Organización del material:** Las fibras fueron separadas y distribuidas de manera uniforme para facilitar su manipulación durante el laminado.
4. **Adecuación de tamaño:** Se ajustaron las fibras a dimensiones compatibles con la geometría del molde.

Figura 12

Fibra de banano y fibra de coco



Nota. Fibra de banano (lado izquierdo) y fibra de coco (lado derecho).

Preparación de la fibra de vidrio

La fibra de vidrio fue preparada antes del proceso de fabricación del prototipo mediante las siguientes actividades:

1. **Inspección del material:** Se verificó que la manta de fibra de vidrio se encontrara en buenas condiciones, libre de roturas, contaminación o deformaciones que pudieran afectar la calidad del laminado.
2. **Medición y marcado:** Se determinaron las dimensiones requeridas de acuerdo con la geometría del molde del casco, realizando el marcado correspondiente para optimizar el aprovechamiento del material.
3. **Corte de la fibra:** La manta de fibra de vidrio fue cortada siguiendo las dimensiones previamente establecidas, permitiendo su correcta adaptación a la superficie del molde.
4. **Preparación para el laminado:** Las piezas cortadas fueron organizadas y dispuestas para su posterior colocación sobre el molde, facilitando el proceso de impregnación con la resina y la fabricación del material compuesto.

Figura 13

Preparación de la fibra de vidrio



Nota. Proceso de elaboración del prototipo de fibra de vidrio.

Preparación de la resina

Por su parte, la resina poliéster fue preparada siguiendo las proporciones recomendadas.

1. **Dosificación:** Se determinó la cantidad de resina necesaria según el tamaño del prototipo.
2. **Mezcla con catalizador:** Se añadió el catalizador en la proporción adecuada para activar el proceso de curado.
3. **Homogeneización:** Se realizó una mezcla uniforme para asegurar un endurecimiento correcto del material.

Figura 14

Preparación de la resina y catalizador



Nota. Proceso de elaboración del prototipo con las cantidades medida de resina y catalizador.

Se utilizó peróxido de metil etil cetona (MEKP) como catalizador, en una proporción aproximada del **1 % al 2 % en peso** con respecto a la resina, de acuerdo con las recomendaciones del experto.

La relación entre fibra y matriz polimérica es un factor determinante en las propiedades del material compuesto. **Para este proceso se optó por una proporción aproximada del 25% de fibra y 75% de resina.** Esta relación permite una adecuada impregnación del refuerzo, garantizando la integridad estructural del laminado y reduciendo la presencia de vacíos.

3.2 Elaboración de los prototipos

La construcción de los prototipos se llevó a cabo mediante el método de laminado manual. Se fabricaron tres estructuras independientes, una utilizando fibra de coco, fibra de banano y fibra de vidrio. Este último como un prototipo de referencia.

3.4.1. Fibra de Banana + Resina Poliéster

Las fibras fueron seleccionadas y organizadas en pequeños haces con una longitud adecuada para facilitar su manipulación y adaptación a la geometría del casco.

La colocación de las fibras se efectuó manualmente sobre la superficie del molde, procurando mantener una orientación predominantemente longitudinal, siguiendo el eje principal de la embarcación desde la proa hasta la popa. Esta disposición permite que las fibras trabajen en la dirección de los esfuerzos longitudinales, favoreciendo la resistencia estructural del material compuesto.

Una vez distribuido el refuerzo, se aplicó la resina poliéster mediante brocha, asegurando la impregnación completa de las fibras y promoviendo una adecuada adherencia entre el refuerzo natural y la matriz polimérica. Durante el proceso se verificó

que la resina cubriera uniformemente toda la superficie, evitando la formación de espacios sin impregnar.

La fibra de banana presentó una adecuada flexibilidad y facilidad de adaptación a las superficies curvas del casco, permitiendo obtener una distribución relativamente uniforme del refuerzo durante el proceso.

Primer prototipo: 130gr. Fibra + 420gr. Resina = 550gr. Peso Total

Figura 15

Finalización del prototipo de banana más resina



Nota. elaboración del prototipo.

3.4.2. Fibra de Coco + Resina Poliéster

El segundo prototipo fue fabricado utilizando fibra de coco como material de refuerzo, debido a su disponibilidad en el medio local y a las propiedades que presenta para su uso en materiales compuestos.

Previamente, la fibra de coco fue acondicionada mediante un proceso de desfibrado y reducción de tamaño, obteniendo una mezcla compuesta por fibras cortas y

partículas vegetales. Posteriormente, este material fue distribuido manualmente sobre la superficie del molde, procurando cubrir uniformemente toda la geometría del casco.

Una vez distribuida la fibra, se aplicó resina poliéster mediante brocha, favoreciendo la impregnación progresiva del material y asegurando la unión entre la fibra natural y la matriz polimérica. Durante esta etapa fue necesario distribuir la resina cuidadosamente para lograr que penetrara entre las fibras y partículas de coco, obteniendo una adecuada consolidación del material compuesto.

A diferencia del prototipo elaborado con fibra de banana, la fibra de coco no fue orientada longitudinalmente, debido a que su presentación en fibras cortas y partículas no permite mantener una dirección predominante. En este caso, el refuerzo quedó distribuido de forma aleatoria sobre la superficie del casco, generando un material compuesto con características más isotrópicas y una cobertura uniforme del molde.

Segundo prototipo: 150gr. Fibra + 450gr. Resina = 600gr. Peso Total

Figura 16

Finalización del prototipo de coco más resina



Nota. elaboración del prototipo.

3.4.3. Fibra de Vidrio + Resina Poliéster

El tercer prototipo fue fabricado utilizando fibra de vidrio como material de referencia para la comparación con los prototipos elaborados con fibras naturales.

Una vez preparada la fibra de vidrio, esta fue colocada manualmente sobre la superficie del molde del casco, procurando su correcta adaptación a la geometría del prototipo y asegurando una cobertura uniforme de toda la superficie.

Posteriormente, se aplicó resina poliéster mediante brocha, realizando una impregnación progresiva de la manta de fibra de vidrio hasta lograr una adecuada unión entre el material de refuerzo y la matriz polimérica.

Durante el proceso de laminado se ejerció presión manual sobre la superficie para favorecer la distribución uniforme de la resina, eliminar posibles burbujas de aire y garantizar la correcta adherencia del material al molde.

1. 100gr. Fibra + 300gr. Resina = 400gr. Peso Total

Figura 17

Finalización del prototipo de vidrio más resina



Nota. elaboración del prototipo.

3.3 Etapa de curado

Una vez concluida la formación del laminado, los prototipos se dejaron reposar para permitir el endurecimiento de la resina.

El tiempo requerido para esta etapa dependió de factores como la temperatura ambiente y las características del material utilizado, asegurando que la estructura adquiriera la rigidez necesaria antes de continuar con el proceso.

3.4 Retiro del molde y acabados

Después de completarse el curado, se procedió a retirar cuidadosamente los prototipos del molde, evitando generar daños en su estructura.

Posteriormente, se realizaron trabajos de acabado, que incluyeron el lijado de las superficies, la eliminación de irregularidades y el ajuste de los bordes, con el objetivo de mejorar la calidad final del casco.

3.5 Verificación inicial de los prototipos mediante pruebas empíricas

Una vez terminados, los prototipos fueron evaluados de manera visual y manual para comprobar su estado general. Se consideraron aspectos como la uniformidad del material, la presencia de imperfecciones, la correcta adherencia entre capas y la rigidez del conjunto. Como parte de la evaluación preliminar de los prototipos fabricados, también se realizaron pruebas empíricas orientadas a observar su comportamiento durante la exposición directa al agua. Estas pruebas tuvieron como finalidad complementar la caracterización del material y del casco mediante dos aspectos de interés para su posible aplicación naval: la absorción de agua y el equilibrio transversal en condición de flotación estática.

Las evaluaciones se realizaron sobre los prototipos fabricados con los diferentes materiales de refuerzo considerados en la investigación, manteniendo condiciones similares de exposición para facilitar su comparación.

3.7.1. Prueba empírica de absorción de agua

La absorción de agua constituye un criterio relevante en materiales compuestos destinados a ambientes acuáticos, debido a que el ingreso de humedad puede modificar su masa y, eventualmente, afectar las características físicas y mecánicas del laminado.

Para realizar una evaluación preliminar de este comportamiento, cada prototipo fue pesado antes de su inmersión, registrándose su masa inicial (M_i). Posteriormente, los cascos fueron colocados en una piscina y permanecieron completamente expuestos al agua durante un período continuo de 24 horas.

Una vez finalizado el período de inmersión, los prototipos fueron retirados del agua y se efectuó un nuevo pesaje para determinar su masa final (M_f). La comparación entre ambas mediciones permitirá identificar la existencia de variaciones de masa atribuibles al ingreso de humedad al sistema compuesto.

La variación de masa se determinará mediante:

$$\Delta M = M_f - M_i$$

Donde:

- **ΔM :** variación de masa del prototipo;
- **M_i :** masa inicial antes de la inmersión;
- **M_f :** masa final después de 24 horas de exposición al agua.

De manera complementaria, el porcentaje de incremento de masa asociado a la absorción de agua podrá calcularse mediante la expresión:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = [(M_f - M_i) / M_i] \times 100$$

Los resultados obtenidos se registrarán de acuerdo con la siguiente estructura:

Prototipo	Material de refuerzo	Masa inicial (g)	Masa después de 24 h (g)	Variación de masa (g)	Absorción (%)
P-01	Fibra de coco	600	600	0	0%
P-02	Fibra de banano	550	550	0	0%
P-03	Fibra de vidrio	400	400	0	0%

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Prueba empírica de equilibrio transversal en flotación

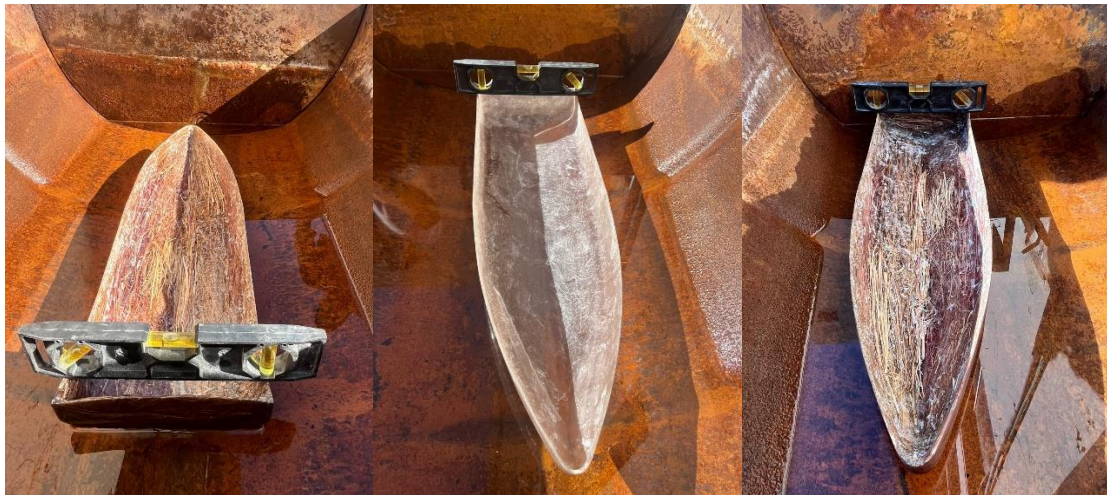
Adicionalmente, se realizó una evaluación empírica del comportamiento de los prototipos durante la flotación en condición estática. El propósito fue comprobar si los cascos permanecían en una posición aproximadamente nivelada una vez colocados libremente sobre el agua, identificando posibles inclinaciones laterales o condiciones evidentes de escora.

Para la prueba, cada prototipo fue colocado individualmente en el agua y se permitió que alcanzara una condición de reposo. Posteriormente, se dispuso un nivel de burbuja en sentido transversal sobre una superficie de referencia del casco, con el fin de observar su horizontalidad durante la flotación.

La posición de la burbuja del instrumento fue utilizada como indicador cualitativo del equilibrio transversal. Durante la prueba, los prototipos evaluados mantuvieron la burbuja dentro de la zona de nivelación, sin apreciarse inclinaciones laterales significativas en condición estática. Este comportamiento permitió comprobar experimentalmente, a escala de prototipo, que la geometría adoptada mantiene una disposición equilibrada sobre el agua bajo las condiciones de la prueba.

Figura 18

Prueba empírica de equilibrio transversal del prototipo mediante nivel de burbuja



Nota. El nivel colocado transversalmente sobre el prototipo permitió verificar cualitativamente la ausencia de una escora apreciable durante la condición de flotación estática.

3.6 Análisis comparativo

Los resultados obtenidos para cada prototipo fueron analizados de manera comparativa, considerando las diferencias entre la fibra de coco y la fibra de banano. Asimismo, se estableció una referencia con respecto a la fibra de vidrio, con el fin de identificar ventajas y limitaciones de los materiales naturales frente a los convencionales.

La composición de los prototipos muestra que se utilizó una relación aproximada de 25 % de fibra y 75 % de resina. El prototipo de fibra de vidrio requirió 400 g de materiales, mientras que los prototipos de banano y coco utilizaron 550 y 600 g, respectivamente. En términos de material empleado, el casco de banano requirió un 37,5 % más que el de fibra de vidrio y el de coco un 50 % más. Esta diferencia se relaciona con la forma y capacidad de impregnación de cada refuerzo, debido a que las fibras naturales presentaron una configuración menos uniforme que la manta de fibra de vidrio.

Tabla 3

Composición inicial de los materiales utilizados en los prototipos

Prototipo	Masa de fibra (g)	Masa de resina (g)	Masa total empleada (g)	Fibra en masa (%)	Resina en masa (%)	Diferencia respecto al vidrio
Fibra de vidrio + poliéster	100	300	400	25,0	75,0	Referencia
Fibra de banano + poliéster	130	420	550	25,0	75,0	37,5 % mayor
Fibra de coco + poliéster	150	450	600	25,0	75,0	50,0 % mayor

Nota. La masa total corresponde a la cantidad inicial de materiales empleados durante el laminado y no necesariamente representa la masa final del casco después del curado y acabado.

Los tres prototipos pudieron fabricarse mediante laminado manual empleando la misma geometría de casco y resina poliéster como matriz. Sin embargo, se identificaron diferencias en la manipulación de los refuerzos. La manta de fibra de vidrio presentó una configuración más regular y facilitó la cobertura uniforme del molde. La fibra de banano mostró buena flexibilidad y adaptación a las superficies curvas, además de permitir una orientación predominantemente longitudinal. Por su parte, la fibra de coco, al estar

constituida por fibras cortas y partículas, requirió una distribución e impregnación más cuidadosa.

Estos resultados demuestran la factibilidad de fabricación a escala de los compuestos naturales, pero también evidencian que su procesamiento es menos uniforme que el de la fibra de vidrio.

Tabla 4

Características constructivas de los prototipos

Característica	Fibra de vidrio	Fibra de banano	Fibra de coco
Presentación del refuerzo	Manta continua	Haces de fibras	Fibras cortas y partículas
Disposición	Adaptada a la superficie del molde	Predominantemente longitudinal	Aleatoria
Facilidad de adaptación	Cobertura uniforme del molde	Buena flexibilidad y adaptación a superficies curvas	Adaptación mediante distribución manual
Impregnación	Aplicación progresiva de resina	Impregnación con brocha sobre haces longitudinales	Requirió mayor cuidado para que la resina penetrara entre las fibras y partículas
Uniformidad observada	Cobertura uniforme	Distribución relativamente uniforme	Cobertura uniforme, pero con estructura más heterogénea
Compactación	Presión manual para eliminar burbujas	Presión y distribución manual	Compactación manual cuidadosa
Masa inicial de materiales	400 g	550 g	600 g

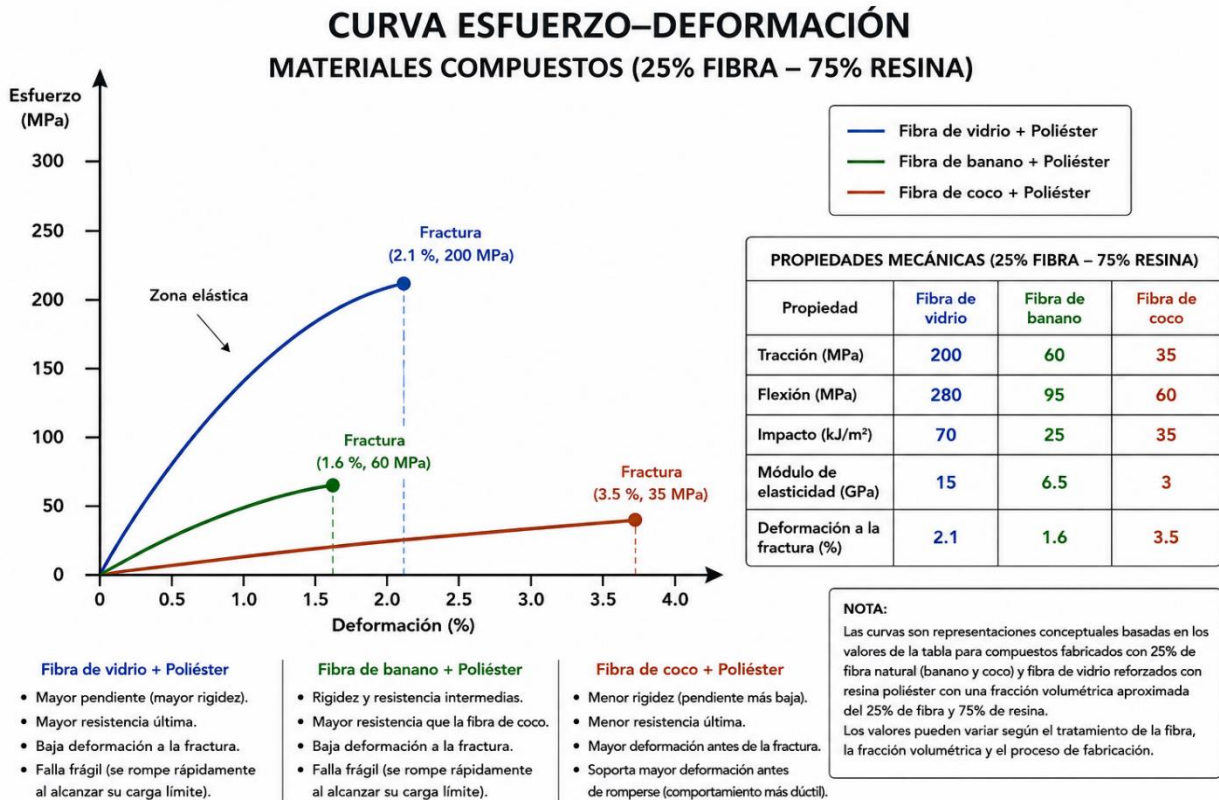
Principal ventaja constructiva	Regularidad y facilidad de cobertura	y Flexibilidad de orientación longitudinal	y Disponibilidad local y distribución multidireccional
Principal limitación	Material sintético no renovable	Variabilidad en el tamaño y orientación de los haces	Mayor heterogeneidad y dificultad de impregnación

Fuente: Elaboración propia.

Para este proyecto se obtuvieron valores mecánicos de referencia suministrados por el técnico especializado en fibra - Fernando Mantuano Palacios - durante la fase de diseño y fabricación del prototipo; dichos valores se emplearon únicamente como referencia comparativa, ya que no se realizaron ensayos mecánicos de laboratorio.

Figura 19

Curva esfuerzo deformación de los materiales empleados en los prototipos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5*Propiedades mecánicas referenciales de los materiales compuestos*

Propiedad	Fibra de vidrio	Fibra de banano	Fibra de coco
Tracción (MPa)	200	60	35
Flexión (MPa)	280	95	60
Impacto (kJ/m ²)	70	25	35
Módulo de elasticidad (GPa)	15	6.5	3
Deformación a la fractura (%)	2.1	1.6	3.5

Nota. Los valores corresponden a información técnica referencial proporcionada mediante comunicación personal y no a ensayos mecánicos realizados sobre los prototipos fabricados.

Tabla 6*Desempeño mecánico referencial relativo*

Propiedad	Fibra de vidrio (%)	Fibra de banano respecto al vidrio (%)	Fibra de coco respecto al vidrio (%)
Tracción	100,0	30,0	17,5
Flexión	100,0	33,9	21,4
Impacto	100,0	35,7	50,0
Módulo de elasticidad	100,0	43,3	20,0
Deformación a la fractura	100,0	76,2	166,7

Fuente: Elaboración propia.

Los valores referenciales muestran que la fibra de vidrio presenta la mayor resistencia a tracción, flexión e impacto, así como el módulo de elasticidad más elevado.

Esto indica que, bajo las condiciones representadas, sería el material con mayor resistencia y rigidez.

Entre las fibras naturales, el compuesto de banano presenta mejores valores referenciales de resistencia y rigidez que el compuesto de coco. Su resistencia a tracción representa el 30 % del valor de la fibra de vidrio y su resistencia a flexión aproximadamente el 33,9 %. Además, su módulo de elasticidad representa el 43,3 % del correspondiente al compuesto de fibra de vidrio.

El compuesto de coco presenta menores valores referenciales de tracción, flexión y rigidez; sin embargo, alcanza una deformación a la fractura de 3,5 %, superior a los otros materiales. Asimismo, su resistencia al impacto, de 35 kJ/m², supera a la del compuesto de banano. Esto sugiere un comportamiento más deformable y una mayor capacidad referencial para absorber energía frente al banano, aunque con menor rigidez.

3.7 Interpretación de resultados

A partir de la presentación de los resultados se identificaron las principales características de cada material, destacando tanto sus fortalezas como sus limitaciones. Este proceso permitió determinar el nivel de viabilidad de las fibras naturales en la fabricación de cascos de embarcaciones a pequeña escala, especialmente en aplicaciones donde no se requieren altos niveles de exigencia estructural.

La caracterización digital permitió establecer que el casco presentó dimensiones aproximadas de 0,50 m de eslora, 0,15 m de manga y 0,09 m de puntal, con una superficie total de 0,116 m². Para un calado de 0,035 m, el modelo alcanzó un desplazamiento aproximado de 1,1 kg y un volumen sumergido de 0,001 m³. La distribución de las áreas sumergidas evidenció una mayor concentración de volumen en las zonas posterior y central y una disminución progresiva hacia la proa. En conjunto, estos resultados

permitieron cumplir el primer objetivo específico mediante la determinación de las características geométricas e hidrostáticas del modelo para la condición analizada.

Las condiciones establecidas permitieron preparar los tres materiales de refuerzo de acuerdo con sus características particulares. Las fibras naturales fueron limpiadas, secadas y adecuadas antes del laminado; la fibra de vidrio fue inspeccionada y cortada conforme a la geometría del casco; y la resina poliéster fue combinada con MEKP en una proporción de 1 % a 2 %. Asimismo, se trabajó con una relación aproximada de 25 % de fibra y 75 % de resina. De esta manera, quedó respondido el segundo objetivo específico al definirse las condiciones de preparación y dosificación utilizadas en la fabricación de los materiales compuestos.

La fabricación mediante laminado manual permitió obtener tres prototipos de casco con una geometría común y diferentes materiales de refuerzo. La fibra de vidrio presentó mayor regularidad durante la cobertura del molde; la fibra de banano mostró flexibilidad y facilidad de adaptación mediante una orientación longitudinal; y la fibra de coco pudo incorporarse al casco mediante una distribución aleatoria, aunque requirió mayor cuidado durante su impregnación.

El análisis comparativo permitió determinar que los tres materiales fueron técnicamente utilizables para la fabricación de prototipos a escala mediante laminado manual. La fibra de vidrio presentó la mayor regularidad constructiva y los mejores valores mecánicos referenciales. Entre las fibras naturales, el banano mostró el comportamiento comparativo más favorable en resistencia, rigidez y adaptación al molde, mientras que el coco destacó por su mayor deformabilidad y resistencia al impacto respecto al banano.

En consecuencia, las fibras de banano y coco demostraron factibilidad constructiva como refuerzos de prototipos a escala. Sin embargo, debido a que las propiedades mecánicas fueron analizadas mediante valores referenciales, los resultados no constituyen una validación experimental del desempeño estructural de los cascos ni permiten certificar su utilización en embarcaciones reales.

La matriz integral que se observa en la Tabla 7 sintetiza la evidencia del prototipo, demostrando que la fibra de vidrio mantuvo las mejores condiciones referenciales de resistencia, rigidez, regularidad y eficiencia en la utilización de materiales.

Tabla 7

Síntesis comparativa de los prototipos

Criterio	Fibra de vidrio	Fibra de banano	Fibra de coco
Masa inicial empleada	Menor: 400 g	Intermedia: 550 g	Mayor: 600 g
Configuración del refuerzo	Manta continua	Haces longitudinales	Fibras cortas aleatorias
Facilidad de adaptación	Alta	Adecuada	Adecuada, con mayor cuidado
Uniformidad del laminado	Mayor regularidad	Relativamente uniforme	Mayor heterogeneidad
Resistencia referencial	Alta	Intermedia	Baja
Rigidez referencial	Alta	Intermedia	Baja
Resistencia al impacto	Alta	Baja	Intermedia
Deformación antes de fractura	Intermedia	Menor	Mayor

Origen del refuerzo	Sintético	Natural y local	Natural y local
Viabilidad constructiva a escala	Comprobada como referencia	Factible	Factible con mayor control de impregnación
Principal ventaja	Resistencia y uniformidad	Mejor equilibrio entre las fibras naturales	Deformabilidad y aprovechamiento de recurso local
Principal limitación	Material no renovable	Menor resistencia que el vidrio	Menor rigidez y mayor cantidad de material

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- La caracterización digital permitió determinar que el modelo presentó dimensiones aproximadas de 0,50 m de eslora, 0,15 m de manga y 0,09 m de puntal, con una superficie total de 0,116 m². Para la condición hidrostática analizada, correspondiente a un calado de 0,035 m, se obtuvo un volumen desplazado de 0,001 m³ y un desplazamiento de 0,0011 t, equivalente aproximadamente a 1,1 kg. Asimismo, la eslora y manga en flotación fueron de 0,458 m y 0,144 m. La curva de áreas evidenció una mayor concentración del volumen sumergido en las zonas posterior y central y una disminución progresiva hacia la proa, coherente con la geometría del casco.
- Se establecieron condiciones diferenciadas para la preparación de los refuerzos de acuerdo con sus características físicas. Las fibras de banano y coco fueron sometidas a limpieza, secado y adecuación de tamaño; la fibra de banano se organizó en haces longitudinales, mientras que la fibra de coco se dispuso en forma de fibras cortas y partículas. La fibra de vidrio fue inspeccionada, medida y cortada conforme a la geometría del molde. En los compuestos de fibra se utilizó una proporción de 25 % de fibra y 75 % de resina, además, se estableció un rango de catalizador MEKP de entre 1 % y 2 % respecto a la masa de resina, permitiendo definir las condiciones de preparación y dosificación requeridas para la fabricación.
- El proceso de laminado manual permitió fabricar tres prototipos de casco con una geometría común, reforzados con fibra de vidrio, fibra de banano y fibra de coco. La fibra de vidrio, presentada en forma de manta, facilitó una cobertura regular del molde; la fibra de banano mostró flexibilidad y capacidad de adaptación mediante una orientación predominantemente longitudinal; y la fibra de coco

pudo incorporarse mediante una distribución aleatoria, aunque requirió mayor cuidado durante su impregnación debido a su configuración heterogénea. Después del curado, desmoldeo y acabado se obtuvieron tres estructuras independientes que conservaron la forma general del molde, demostrando la factibilidad de emplear los tres refuerzos en la fabricación de prototipos a escala.

- La comparación técnica mostró que el prototipo de fibra de vidrio empleó la menor cantidad inicial de materiales, con 400 g, frente a los 550 g del banano y los 600 g del coco, y presentó la configuración más uniforme durante el laminado. De acuerdo con los valores mecánicos referenciales, la fibra de vidrio mantuvo la mayor resistencia y rigidez. Entre las alternativas naturales, la fibra de banano presentó el mejor equilibrio técnico por su adaptación al molde, orientación longitudinal y mayores valores referenciales de tracción, flexión y módulo de elasticidad respecto al coco. La fibra de coco destacó por su mayor deformación antes de la fractura y por una resistencia al impacto superior a la del banano, aunque presentó menor rigidez, mayor heterogeneidad y mayor consumo inicial de material. Por lo tanto, ambas fibras naturales representan opciones preliminares para fabricar prototipos a escala, pero su aplicación en embarcaciones reales requiere futuras pruebas estructurales y de durabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar diferentes porcentajes de fibra y resina, con el fin de determinar la combinación que ofrezca el mejor equilibrio entre resistencia mecánica, peso y facilidad de fabricación.
- Se recomienda aplicar tratamientos químicos a las fibras naturales antes del proceso de laminado para mejorar la adhesión entre la fibra y la resina poliéster, incrementando la resistencia y durabilidad del material compuesto.
- Se recomienda realizar estudios de comportamiento del material compuesto en ambientes marinos, evaluando su resistencia a la humedad, al agua salada y a la radiación solar durante períodos prolongados.
- Se recomienda emplear fibras naturales, especialmente de banano y coco, en la fabricación de componentes internos o no estructurales de embarcaciones, como paneles interiores, compartimientos, revestimientos, mobiliario y tapas de registro, debido a que presentan propiedades mecánicas suficientes para este tipo de aplicaciones, además de contribuir a la reducción del impacto ambiental.
- Se recomienda continuar investigando el desarrollo de materiales compuestos híbridos que combinen fibra de vidrio con fibras naturales, buscando mejorar las propiedades mecánicas y reducir el consumo de materiales sintéticos.

BIBLIOGRAFÍA

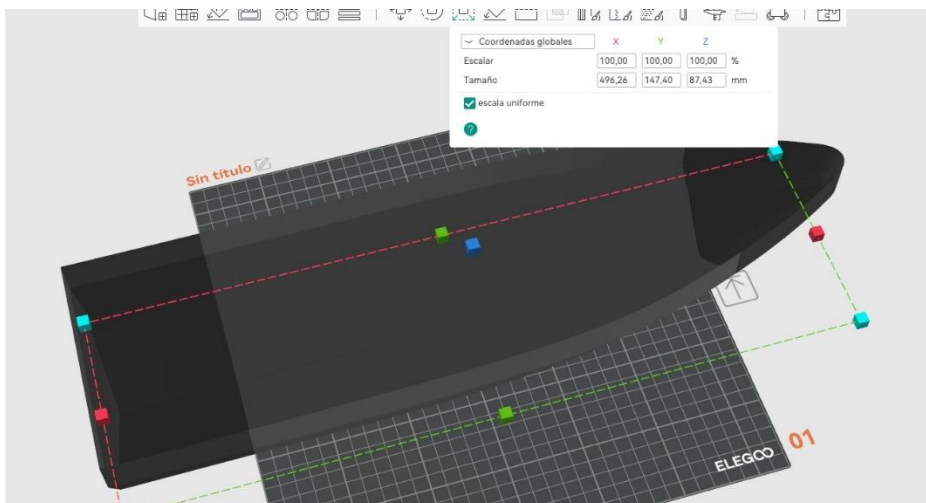
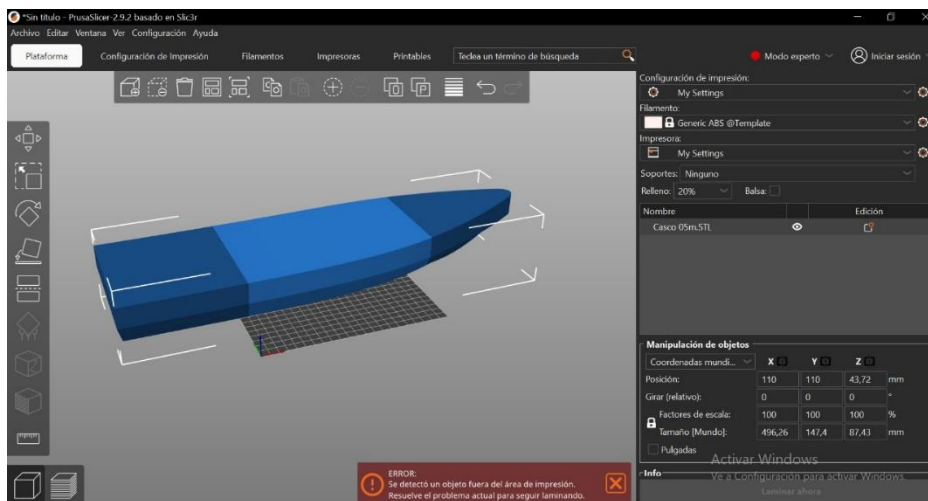
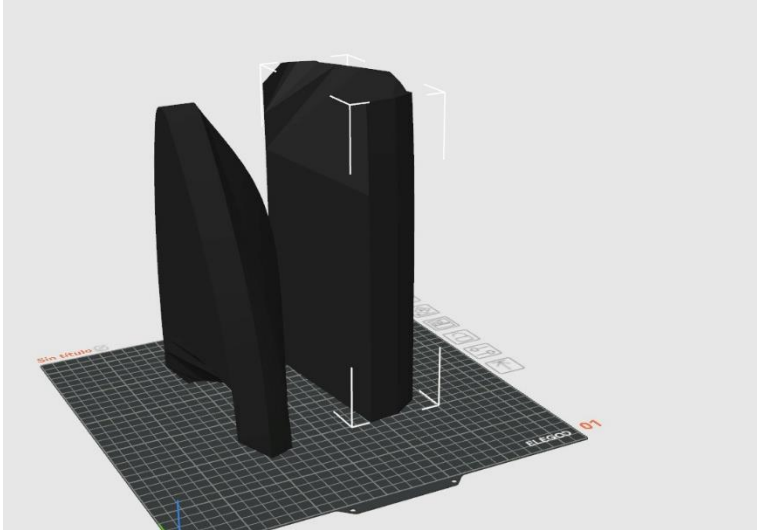
- Anclademia. (29 de 05 de 2025). *AEN*. <https://anclademia.com/blog/que-es-la-flotabilidad-en-navegacion/>
- Bichang'a, D., Aramida, F., Oladele, I., & Alabi, O. O. (2022). *ProQuest*. https://www.proquest.com/docview/2640855537?utm_source=chatgpt.com&sourcecetype=Scholarly%20Journals
- BoaterExam. (s/f). *Boat Hull Types & Designs*. Boaterexam.com: <https://www.boaterexam.com/boating-resources/boat-hull-types-designs/>
- Boats Group. (27 de 10 de 2023). *Boat hull types: what hull shape is best?* Boats.com: <https://uk.boats.com/boat-buyers-guide/boat-hull-types/#:~:text=Los%20cascos%20en%20V%20profunda,para%20alcanzar%20la%20misma%20velocidad.>
- Brigada, S. (29 de 10 de 2021). *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/535801204/Resin-Transfer-Moulding-RTM-Escrito>
- Dąbrowska, A. (2022). Plant-Oil-Based Fibre Composites for Boat Hulls. *Materials*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/ma15051699>
- Deivid. (16 de 04 de 2025). *Nautica Adventure*. <https://nauticadventure.com/es/que-es-puntal-en-la-navegacion/>
- Diario Nàutico. (30 de Septiembre de 2024). *La manga de un barco, qué es y para qué sirve*. Diario Nautico: <https://eldiarionautico.com/la-manga-de-un-barco-que-es-y-para-que-sirve/>
- Domestika. (2023). *Domestika*. https://www.domestika.org/es/blog/11148-que-son-las-eco-resinas-y-como-pueden-utilizarse-para-fabricar-objetos-de-diseno?exp_set=1
- Embarcaciones de Pesca. (s.f.). *Qué Es el Francobordo de Un Barco*. <https://www.embarcacionesdepesca.com/que-es-el-francobordo-de-un-barco/>
- FiberGlass. (27 de 05 de 2022). <https://fiberglasswarehouse.com/blogs/news/basic-gel-coat-guide>
- Ghosh, S. (16 de Julio de 2022). *What Does Seakeeping Of Vessels Mean?* Marine Insight: https://www.marineinsight.com/naval-architecture/what-is-seakeeping-of-a-vessel/?utm_source
- Infinitia Research. (22 de 06 de 2022). *Materiales compuestos: ¿Qué son y para qué sirven?* Infinitiaresearch: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/materiales-compuestos-que-son-y-para-que-sirven/>

- Marinos. (29 de 01 de 2024). *Estabilidad en un barco: qué debes saber*. Marinos: <https://marinos.es/estabilidad-en-un-barco-que-debes-saber/>
- MARISOL, R. C. (2023). <https://repositorio.utn.edu.ec/>. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14492/2/04%20IT%20337%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Nautic Adventure. (16 de 04 de 2025). *¿Qué es Principio de Arquímedes en la navegación?* Nautic Adventure: <https://nauticadventure.com/es/que-es-principio-de-arquimedes-en-la-navegacion/>
- Omnis Compozit. (21 de agosto de 2025). *Understanding Hand Lay-Up Composite Manufacturing Process*. <https://omniskompozit.com/en/news/hand-lay-up-composite-manufacturing-process/>
- Reich, G. (11 de junio de 2014). *Resins, Resins, Everywhere, But Which One to Use?* Boats.com: <https://www.boats.com/how-to/resins-resins-everywhere-one-use/#:~:text=Las%20resinas%20de%20poli%C3%A9ster%20y,embarcaciones%20de%20fibra%20de%20vidrio.>
- Rogers, C. (25 de enero de 2021). *Introduction to Vacuum Infusion*. ExploreComposites: <https://explorecomposites.com/articles/lamination/introduction-to-vacuum-infusion/>
- Sprig. (22 de Noviembre de 2023). *Coir Benefits: Understanding the Versatility of Coconut Fibre*. <https://www.sprig.co.za/coir/>
- The Welding Institute. (s.f.). *How are composites manufactured?* TWI: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-how-are-composites-manufactured#compression>
- VadeFood. (29 de 11 de 2022). *VadeQuímica*. https://www.vadequimica.com/blog/todos-los-articulos/fibra-de-bambu.html?srsId=AfmBOorrEn1OmG7_I1EHGKr20Kp_AUC4K-rwaETbIYpMiPy1lkUwmVrR

ANEXOS

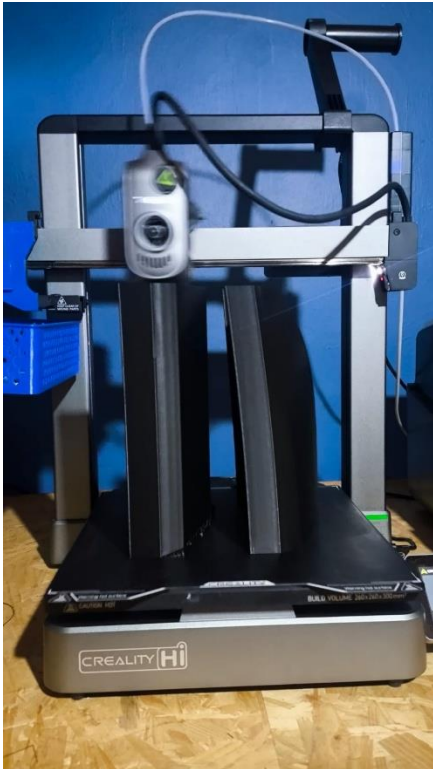
Anexo 1

Modelado del prototipo



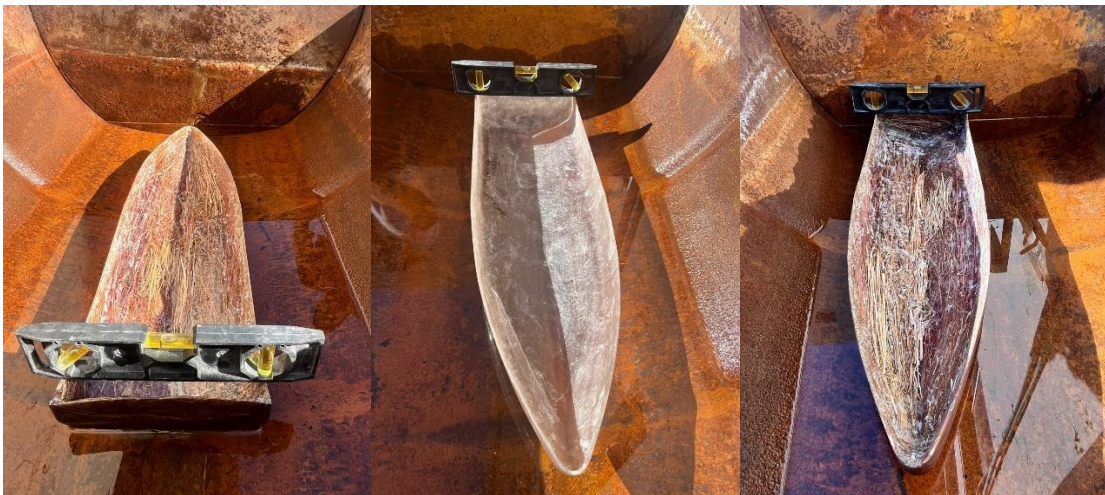
Anexo 2

Máquina para la impresión del prototipo en molde de material PLA



Anexo 3

Pruebas en los prototipos



Anexo 4

Diseño de los prototipos de fibra de vidrio, banano y coco

