

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Estudio experimental de la energía de daño en el fondo de proa de una
embarcación con capas viscoelásticas de segunda generación para las Islas
Galápagos.

INGE-2325

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Naval

Presentado por:

Walter Geanpierre Arias Pilco

Jaime Jose Zamora Zamora

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Dedicado a Dios por darme luz y voluntad en los momentos más difíciles. A mi padre Walter quien ha sido mi mayor apoyo y gran inspiración. A mi madre Susana por su paciencia y amor incondicional. A mi hermana Katherine, mi inquebrantable apoyo, mi pilar y fuente constante de fortaleza y amor. A mi fiel amigo Locky, quien con su alegría me ha acompañado en todas las noches de desvelo brindándome su energía. A toda mi familia los amo.

Walter Geanpierre Arias Pilco

A Dios por todo lo que he sido, soy y seré. A mis padres, Jaime y Gladys, quienes incondicionalmente me brindaron su apoyo. A mis abuelos, Julio, Azucena, José y Emitelia, por su amor y fé fue que aprendí a soñar en grande. A Julito, por siempre ser mi compañero y para demostrarle que con esfuerzo todo se logra. A Melany, por creer en mí y apoyarme. Los amo y sé que celebrarán este triunfo como uno propio. Esto es solo el principio...

Jaime Jose Zamora Zamora

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento al PhD Patrick Townsend quien ha sido nuestro mentor durante toda la carrera e hizo posible la culminación de este proyecto. Al laboratorio de Geotecnia y Construcción de FICT, quienes abrieron sus puertas y estuvieron a disposición para desarrollar los experimentos en beneficio de la ciencia. Al Ing. Jose Rodríguez, quien puso a disposición su experiencia para guiarnos durante el proceso de la fabricación de las probetas. A Toño y a Huguito por siempre estar al pendiente de nuestra amada FIMCM y abrirnos las puertas del conocimiento. A nuestros amigos y de más personas que nos ayudaron durante nuestros estudios. Pero sobre todo a Dios, que forjó la amistad entre estos dos autores desde los inicios de la universidad y será propulsada a las grandes ligas.

Walter Geanpierre Arias Pilco

Jaime Jose Zamora Zamora

Declaración Expresa

Nosotros Walter Arias y Jaime Zamora acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor de los autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 26 de enero del 2024.

Autor 1
Walter G. Arias Pilco

Autor 2
Jaime J. Zamora Zamora

Evaluadores

MSc. María Tadea Quintuña Rodríguez

Profesor de Materia

PhD. Patrick Townsend Valencia

Tutor de proyecto

Resumen

Estudio experimental del daño energético es una reproducción del impacto de los cascos de GFRP en el mar, slamming. La investigación fue realizada en laboratorios mediante la construcción de dos tipos de paneles de GFRP: viscoelásticos y modificados no viscoelásticos. A través de una prueba de flexión, se desarrolló la recopilación de datos para obtener la medición de las variables en puntos clave. Los resultados obtenidos mostraron un comportamiento esperado, ya que las muestras modificadas pudieron distribuir la fuerza inducida desde el centro hasta los bordes. Además, la energía de daño en los paneles modificados fue mayor que en los no modificados. La flexibilidad demostró una tasa de aumento más alta en los paneles no modificados, indicando que la capa viscoelástica contribuyó al aumento de rigidez en el panel modificado. En conclusión, los materiales viscoelásticos ayudan a disipar la energía absorbida por la estructura, prolongando su vida útil. Además, este estudio amplía el conocimiento básico del comportamiento de los materiales viscoelásticos en los cascos de planificación de GFRP.

Palabras Clave: Energía de daño, materiales viscoelásticos, slamming, prueba de flexión, embarcaciones planeadoras de GFRP.

Abstract

Experimental study of the damage energy is a reproduction of the GFRP vessels' slamming in the sea. The investigation was carried out to the laboratories by the construction of two types of GFRP panels: viscoelastic and non- viscoelastic modified. Through a bending test, the data collection was developed to get the measurement of the variables in key points. The obtained results showed an expected behavior because the modified specimens were able to spread the force induced from the center to the edges. Besides, the damage energy in the modified panels return in bigger amounts than the unmodified. Flexibility demonstrated a higher rate of increase in the unmodified panels, indicating that the viscoelastic layer contributed to the stiffness increment in the modified panel. In conclusion, viscoelastic materials help to dissipate the energy absorbed by the structure, elongating the lifetime. Also, this study expands the basic knowledge of viscoelastic materials' behavior in the GFRP planing hull vessels.

Keywords: Damage energy, viscoelastic materials, slamming, bending test, GFRP vessels

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	IX
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del Problema.....	3
1.2 Justificación del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Slamming.....	5
1.4.2 Material compuesto.....	6
1.4.3 Lámina viscoelástica.....	8
1.4.4 Embarcaciones de fibra de vidrio.....	9
1.4.5 Propiedades mecánicas.....	11

Capítulo 2.....	13
2. Metodología.....	14
2.1 Descripción de los equipos.....	15
2.1.1 Máquina SHIMADZU UH-11FX.....	15
2.1.2 Equipo National Instruments	16
2.2 Diseño de probetas	17
2.2.1 Diseño laminar sin viscoelástico.....	17
2.2.2 Diseño laminar con viscoelástico.....	18
2.2.3 Esquema de los extensómetros	19
2.3 Descripción de la prueba de flexión.....	20
2.4 Ecuaciones desarrolladas.....	22
2.4.1 Cálculo de la presión de slamming	22
2.4.2 Cálculo para obtener la energía de daño	23
2.4.3 Cálculo para obtener los esfuerzos en el laminado	24
Capítulo 3.....	29
3. Resultados y análisis	30
3.1 Resultado de la fuerza ejercida por el slamming según ABS	30
3.2 Resultados y análisis de las deformaciones en los especímenes.....	31
3.2.1 Probeta sin viscoelástico	31
3.2.2 Probeta con viscoelástico.....	32
3.3 Resultados y análisis de los impactos de la máquina de flexión.....	33

3.3.1	Probeta sin viscoelásticos	34
3.3.2	Probeta con viscoelásticos	34
3.4	Resultados y análisis de la energía de daño y acumulada de las probetas	35
3.5	Resultados y análisis de la estimación de la elongación a la rotura.....	38
3.6	Resultado y análisis del comportamiento de los esfuerzos en los paneles.....	40
Capítulo 4.....		41
4.1 Conclusiones y recomendaciones		42
4.1.1 Conclusiones		42
4.1.2 Recomendaciones		45
Referencias.....		46

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCM	Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar
FICT	Facultad de Ciencias de la Tierra
GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastic
ABS	American Bureau of Shipping
DNV	Det Norske Veritas
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
TPU	Material Poliuretano Termoplástico Lineal
INOCAR	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador
FAO	Food and Agriculture Organization de las Naciones Unidas

Simbología

mm	Milímetro
kN	Kilo Newton
kJ	Kilo Joule
s	Segundos
m	Metro
N	Newton
GPa	Giga Pascal
Ch	Canal / Channel

Índice de figuras

Figura 1.1 Gráfica de la fuerza de impacto del casco de una embarcación sobre el tren de olas en un intervalo de tiempo.....	6
Figura 1.2 Grafica de tensión vs alargamiento de un material compuesto.	7
Figura 1.3 Lamina viscoelástica.	8
Figura 1.4 Propiedades físicas del material ABS.....	9
Figura 1.5 Tela de fibra de vidrio ROBIN 400 gr/m ²	10
Figura 1.6 Gráfica de esfuerzo vs deformación.	12
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto.	15
Figura 2.2 Máquina SHIMADZU UH-11FX.....	16
Figura 2.3 Equipo de adquisición de datos.	16
Figura 2.4 Desmolde de especímenes para el proyecto.	17
Figura 2.5 Diseño laminar de probeta sin viscoelástico.	18
Figura 2.6 Espécimen final sin viscoelástico.....	18
Figura 2.7 Diseño laminar de probeta con viscoelástico.	19
Figura 2.8 Espécimen final con viscoelástico con las galgas extensométricas.....	19
Figura 2.9 Esquema de las direcciones de las deformaciones por las galgas extensométricas.	20
Figura 2.10 Presentación de la probeta con la máquina de flexión.	21
Figura 2.11 Espacio de trabajo para las pruebas de flexión.....	21
Figura 2.12 Comportamiento de un material compuesto sometido a deformación.	25
Figura 2.13 Geometría de un laminado.....	26
Figura 3.1 Grafica de deformación vs tiempo para la probeta sin viscoelástico.	32
Figura 3.2 Grafica de deformación vs tiempo para la probeta con viscoelástico.	33
Figura 3.3 Prueba de flexión 01 para el espécimen sin viscoelástico.....	34

Figura 3.4 Prueba de flexión 02 para el espécimen sin viscoelástico.....	34
Figura 3.5 Prueba de flexión 03 para el espécimen con viscoelástico.....	35
Figura 3.6 Prueba de flexión 04 para el espécimen con viscoelástico.....	35
Figura 3.7 Energía acumulada en el primer y último impacto en las probetas de GFRP.	36
Figura 3.8 Energía de daño en las cuatro probetas de GFRP.....	37
Figura 3.9 Tendencia de las mínimas deformaciones para ambos tipos de paneles.	38
Figura 3.10 Estimación de la elongación a la rotura para ambos tipos de paneles.....	39
Figura 3.11 Comportamiento de la flexibilidad en los paneles con y sin viscoelásticos.....	40

Índice de tablas

Tabla 3.1. Fuerza de slamming para las pruebas de flexión.	30
---	----

Capítulo 1

1. Introducción

Las embarcaciones de las Islas Galápagos son fabricadas con plástico reforzado con fibra de vidrio (GFRP sus siglas en inglés). Este es el principal medio de transporte entre islas para los turistas y la comunidad que radica allí. Además, es una de las principales fuentes de ingreso económico para este archipiélago. Por consiguiente, la importancia de mantener las embarcaciones en condiciones óptimas para el usuario.

Según INOCAR, en el archipiélago de las Galápagos se producen generalmente estados de mar 4 y 5 en la escala de Douglas, (INOCAR, 2023). Debido a estas condiciones, las embarcaciones tienden a sufrir daños estructurales al impactarse con el tren de olas, esto se conoce como slamming. Este fenómeno físico es consecuencia de las altas velocidades de navegación, que generan una fuerza de sustentación en la proa, seguido por un descenso brusco debido a la gravedad. Estos movimientos se generan aleatoriamente con diferentes niveles de impacto.

Según Townsend, se ha evidenciado que ciertas embarcaciones presentan una delaminación entre sus capas de fibra de vidrio y un futuro fallo estructural producido por el impacto de las olas, (Townsend & Suarez, 2018) . Incluso se han presentado varios accidentes en las Islas Galápagos, como el sucedido en septiembre del presente año donde la embarcación “Queen Evolution” naufrago con 28 turistas a bordo, (EL DIARIO, 2023).

Kapsenberg enuncia que ya existen exhaustivos estudios de investigación sobre el slamming en este tipo de embarcaciones y las afectaciones que causa, sin embargo, la comunidad científica busca un horizonte hacia el cual caminar para encontrar una solución, en donde lo desconocido de los materiales viscoelásticos proporcionan una gran tentativa, (Kapsenberg, 2011).

Por consiguiente, con la intención de reducir tanto el nivel de daño provocado por el tren de olas en la embarcación como la contaminación existente en las Islas Galápagos por el uso

de plásticos en los trabajos de mantenimiento y reparación. Este trabajo tendrá un enfoque experimental en el estudio de la cantidad de energía de daño que puede absorber un material compuesto por viscoelásticos procurando el aumento la vida útil de las naves y la innovación de los métodos tradicionales de construcción de estas.

Asimismo, en este trabajo se estudiará experimentalmente cuatro especímenes, dos de ellos tendrán un diseño de laminado simple utilizado en la construcción de una embarcación típica para las islas. Y los otros especímenes, se diferenciarán del resto por tener instalados en una capa intermedia el material viscoelástico. Luego, los dos tipos de especímenes serán expuestos a pruebas de flexión en laboratorio para reproducir el fenómeno de slamming.

1.1 Descripción del Problema

Las Islas Galápagos es uno de los parques naturales más importantes del planeta, ya que tiene diversidad de especies en flora y fauna. Además, en el año 2022 se tuvo un ingreso turístico de 267.688 turistas, favoreciendo a la economía de las islas post pandemia, (Parque Nacional Galápagos et al., 2022). Debido a esto, la importancia de mantener en buen estado sus embarcaciones para brindar a los usuarios seguridad y confort.

Según Kim y su equipo de investigación, en un estudio centrado principalmente en los problemas técnicos relacionados al slamming, logra identificar los desafíos actuales y llega a la conclusión que los materiales compuestos son una alternativa prometedora que puede reemplazar los materiales convencionales usados en la construcción de embarcaciones haciendo un énfasis en las características hidrodinámicas que estos poseen, (Kim et al., 2014).

A su vez, PhD. Townsend, en su búsqueda por la innovación y el beneficio de la construcción naval ecuatoriana propone en su estudio doctoral, la inserción de capas viscoelásticas de primera generación en el diseño laminar de las embarcaciones de GFRP con

el fin de protegerlas de la carga destructiva del slamming y alargar su vida útil,(Townsend et al., 2019).

Asimismo, es notable el avance de la tecnología en impresiones 3D en los últimos años, (Siacor et al., 2021), y como consecuencia a esto, los materiales viscoelásticos se han perfeccionado, sin embargo, es totalmente un enigma el comportamiento y las propiedades físicas que este posee. Por lo que se plantea identificar mediante métodos experimentales su propiedad de rigidez y buscar la implementación de esta tecnología vanguardista en la industria de construcción naval ecuatoriana en un futuro.

1.2 Justificación del Problema

En el archipiélago de las Galápagos se han registrados diversos accidentes producidos por fisuras en el casco, llevando al naufragio y poniendo en peligro la vida de los turistas y la comunidad. Incluso, se pone en peligro el ecosistema marino al estar expuestos a agentes contaminantes como el combustible y aceite de la embarcación.

Por todo lo mencionado, es importante el estudio de nuevos materiales tecnológicos que prevean mayor seguridad en el transporte de los pasajeros. Como es el caso, del material viscoelástico, con la implementación de esta lamina se espera una disminución en la contaminación por micro-plásticos y, a su vez, una mayor resistencia al slamming de la embarcación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Estudiar experimentalmente la energía de impacto producida por el slamming en la proa de una embarcación modificada con láminas viscoelásticas de segunda generación, mediante pruebas de flexión reproduciendo el fenómeno con probetas de GFRP, para estimar su flexibilidad y cuestionar si es factible su uso en las embarcaciones.

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Replicar el modelo laminar de una sección de fondo de proa de una embarcación utilizando fibra de vidrio y material viscoelástico, para la reproducción de las pruebas de flexión en el laboratorio.
2. Comparar el comportamiento de la flexibilidad entre probetas de GFRP modificadas con material viscoelástico y sin modificar para evaluar la tendencia y sus características físicas.
3. Generar los gráficos comparativos con los datos experimentales para obtener la energía de daño y establecer una relación entre ambos tipos de probetas.
4. Estimar la elongación a la rotura de ambos paneles para determinar la viabilidad del uso de capas viscoelásticas en las embarcaciones de GFRP.

1.4 Marco teórico

1.4.1 *Slamming*

El choque de un barco en las olas implica dos fenómenos físicos principales: el problema local y la respuesta global de la estructura del barco, conocida como azote, (Kapsenberg, 2011). El problema local ocurre cuando una nave encuentra una ola, lo que resulta en una carga impulsiva alta en una pequeña área de la estructura. Efectos como inclusiones de aire, compresibilidad y cavitación local dificultan la modelización precisa.

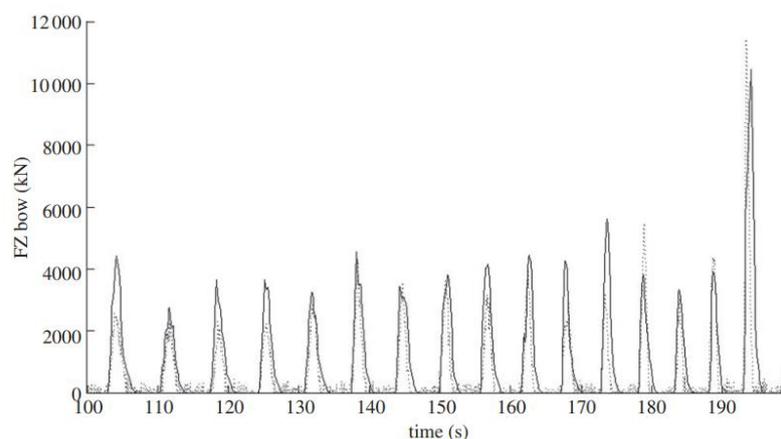
La respuesta global, o azote, se centra en cómo reacciona toda la embarcación a los impactos de las olas. Se ha propuesto un enfoque de dos etapas que utiliza dinámica de fluidos computacional y métodos aproximados. Considerar factores como la habilidad náutica del capitán en simulaciones a largo plazo es crucial para evaluaciones realistas.

Comprender y predecir los fenómenos de slamming es esencial para diseñar barcos que puedan resistir las cargas y garantizar operaciones seguras. La incorporación de factores

como inclusiones de aire y la respuesta global del barco en métodos computacionales mejora la precisión. En general, un conocimiento integral de estos fenómenos contribuye al desarrollo de diseños de barcos más seguros y eficientes.

Figura 1.1

Gráfica de la fuerza de impacto del casco de una embarcación sobre el tren de olas en un intervalo de tiempo



Nota: Obtenido de Kapsneriberg et al., 2010.

Por otro lado, las reglas de clasificación DNV y ABS han estudiado el fenómeno y proponen métodos de estimación de los picos de fuerza provocada por la presión de slamming, (Camilleri et al., 2018).

1.4.2 Material compuesto

Un material compuesto se define como una mezcla entre materiales de diferentes características, generando uno nuevo con propiedades físicas únicas (Bensednjak, 2005). Este tipo de material depende del tipo de interfase, es decir se diferencia por la matriz y el refuerzo. Por otro lado, al enfocarse en la matriz del compuesto se divide en tres tipos:

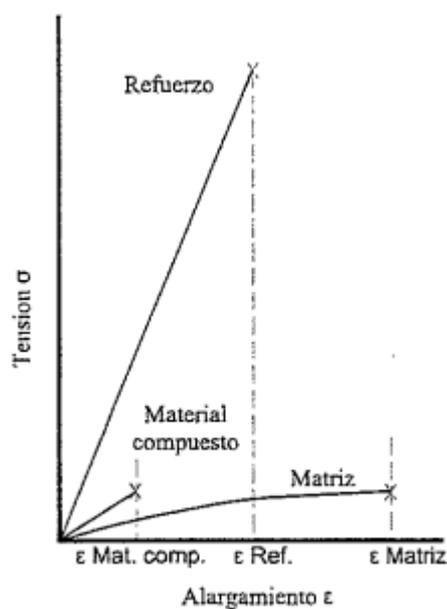
- Materiales compuestos de matriz metálica
- Materiales compuestos de matriz cerámica

- Materiales compuestos de matriz polimérica

Este proyecto de investigación se focalizará en un material compuesto de matriz polimérica, ya que entre sus principales características se encuentra su resistencia a la corrosión y agentes químicos, además de su bajo nivel de conductividad eléctrica. Incluso, al combinarse con algún tipo de fibra pueden ser moldeados con facilidad, ayudando a las construcciones navales.

Figura 1.2

Grafica de tensión vs alargamiento de un material compuesto



Nota: Obtenido de (Bensednjak, 2005).

En la figura 1.2, se observa el comportamiento de una matriz y un refuerzo al ser combinados. A pesar de que no se conoce el tipo de material compuesto que se haya creado para dicha imagen es solo una idea de referencia que indica las características físicas de cada material y como al juntarse crean propiedades totalmente nuevas con el objetivo de mejorar la integridad atómica de ambos compuestos.

1.4.3 Lámina viscoelástica

Este tipo de lámina es una combinación entre un polímero de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y el material poliuretano termoplástico lineal (TPU). En la figura 1.3, se observa la distribución de estos materiales, con un color blanco en el interior de la capa se tiene presente el material ABS y en su contorno de un color azul se conoce el material TPU.

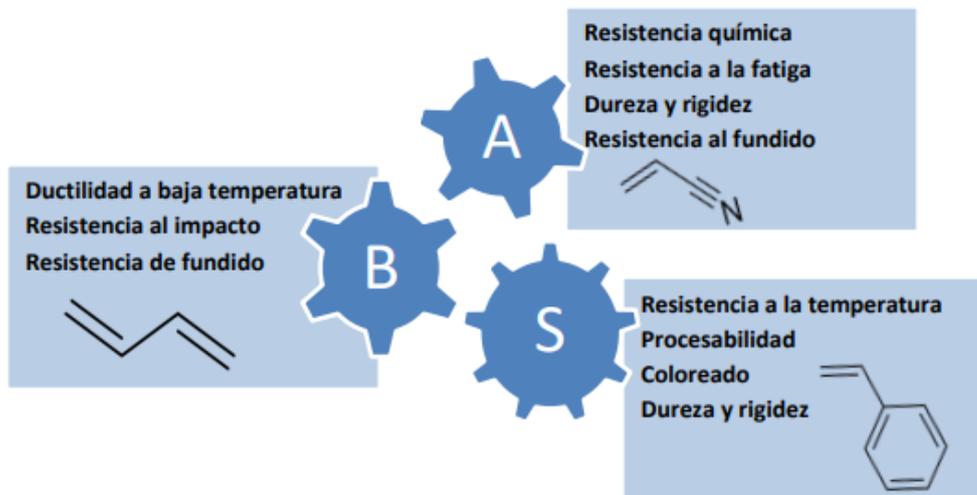
Figura 1.3

Lamina viscoelástica



1.4.3.1 Polímero ABS

Según Pérez, 2018, el polímero de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es la agrupación de tres monómeros que poseen sus propias propiedades. De esta manera, el acrilonitrilo brinda una resistencia térmica y mecánica, por otro lado, el butadieno tiene una resistencia a la elongación y finalmente el estireno permite una estabilidad dimensional en lo que respecta a su rigidez.

Figura 1.4*Propiedades físicas del material ABS*

Nota: Obtenido de (Perez, 2018).

1.4.3.2 Poliuretano termoplástico lineal

Este polímero presenta tres tipos de componentes químicos: un diisocianato que ayuda a formar el segmento rígido del material, un diol de alto peso molecular que brinda la flexibilidad al polímero y un diol de bajo peso molecular que actúa como un extendedor de la cadena lineal, (Mateo, 2022).

El TPU es un plástico que se utiliza en una variedad de campos industriales, como en la fabricación de calzado, alambres, entre otros. Este elastómero se usa por su dureza y rigidez facilitando el diseño de piezas en 3D.

1.4.4 Embarcaciones de fibra de vidrio

Según (FAO, 1994), desde la década cuarenta, la industria naval ha experimentado grandes cambios en la construcción de embarcaciones con materiales compuestos, es decir, utilizando fibra de vidrio como refuerzo y resina como matriz. Con ello se ha logrado diseñar

embarcaciones más ligeras, con una mayor vida útil que al usar acero y con un bajo nivel de inversión por su fabricación.

1.4.4.1 Fibra de vidrio

Según (FAO, 1994), al alterar la composición química del vidrio en el proceso de fundición, este puede llegar a sobrepasar la resistencia estructural de materiales como el acero o el aluminio. Existen diferentes tipos de telas de vidrio, como las llamadas MAT o Robin, que según sus características permiten construir grandes embarcaciones al combinarlas en un solo diseño laminar. Estas telas pueden llegar desde 110 a 800 gr/m², dependiendo la necesidad del usuario.

Figura 1.5

Tela de fibra de vidrio ROBIN 400 gr/m²



1.4.4.2 Resina

La resina poliéster es la más usada en el mundo de la fabricación de embarcaciones y es una derivación del carbón y el aceite. Este compuesto tiene varios nombres según el proceso de fabricación, es decir, se conoce como resina saturada cuando esta pasa de su estado líquido (resina insaturada) al sólido mediante un proceso de curación (FAO, 1994).

Por otro lado, dentro de las propiedades que se deben de tomar en consideración al trabajar con la resina poliéster se encuentran (FAO, 1994):

- Resistencia a la absorción de agua
- Cualidades adhesivas
- Resistencia mecánica

1.4.4.3 Catalizador

Como se mencionó, para que la resina pase de un estado líquido a sólido necesita un proceso de curación, aquí se utiliza un catalizador. Este es un componente químico que altera las moléculas de la resina insaturada a saturada mediante una reacción exotérmica (FAO, 1994). Por lo que, el acelerante debe ser agregado al final del proceso constructivo, ya que la etapa de curación es extremadamente rápida.

1.4.5 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas permiten describir el comportamiento de un material en lo que corresponde a la fuerza aplicada, aquí se busca conocer su resistencia, rigidez, entre otras características (Askeland, 1998). Este tipo de propiedades también determinan la cantidad de deformación que puede alcanzar un material antes de sobrepasar su comportamiento no lineal.

1.4.5.1 Ensayo de flexión

En este proyecto se quiere obtener la gráfica de esfuerzo versus deformación al reproducir el efecto del slamming en las probetas, por este motivo se realiza un ensayo de flexión. Generalmente, en este tipo de pruebas se busca encontrar el esfuerzo máximo, es decir la resistencia máxima del material a la flexión (Askeland, 1998). De esta manera, se conocerá las propiedades mecánicas como la rigidez y la resistencia al combinar el diseño laminar simple con las capas viscoelásticas.

1.4.5.2 Ley de Hooke

La ley de Hooke es la pendiente de la curva de esfuerzo vs deformación en la región lineal del material (Askeland, 1998). En otras palabras, se la conoce como el módulo de

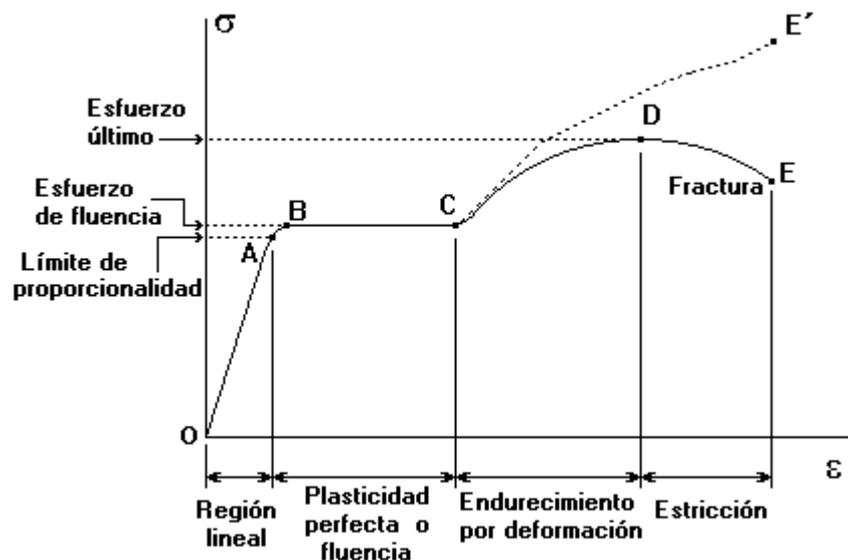
elasticidad o módulo de Young, este permite reconocer el enlace de energía entre átomos. Asimismo, está relacionado con la rigidez del material, ya que mientras más alto sea su módulo tendrá una mayor rigidez y viceversa.

1.4.5.3 Esfuerzo

El esfuerzo en un material permite conocer las fuerzas internas que genera una carga concentrada en un área de interés. Existe varios tipos de esfuerzo, como el de fluencia que es donde el material abandona la región lineal y pasa la zona no lineal (Askeland, 1998). Por otro lado, es importante destacar que en este proyecto la zona de trabajo será en la región lineal, ya que la zona no lineal pertenece a curso más avanzados de la ingeniería en materiales.

Figura 1.6

Gráfica de esfuerzo vs deformación



Nota: Se puede observar los esfuerzos límites en un material. Obtenido de INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ, 2023.

Capítulo 2

2. Metodología.

Este trabajo está formado por dos tipos de investigación, la primera de ellas es aplicada, debido a que busca la utilización de conocimientos previamente adquiridos para solucionar problemas prácticos del mundo real. Por otro lado, es experimental ya que presenta la influencia de variables independientes y dependientes y como afecta al experimento la alteración de dichas variables.

El presente proyecto tiene un enfoque experimental, ya que se buscó obtener las propiedades mecánicas del material viscoelástico de segunda generación. Para cumplir con este objetivo, se realizaron pruebas de flexión cuasi estáticas en los dos tipos de probetas de GFRP donde las ocho pruebas representan un pico en la gráfica de slamming vs tiempo. Asimismo, presenta un enfoque cuantitativo ya que se recopiló y analizó los datos obtenidos por cada prueba realizada mediante el uso de extensómetros para las deformaciones. De esta manera, se espera encontrar una relación entre las variables que conforman el experimento.

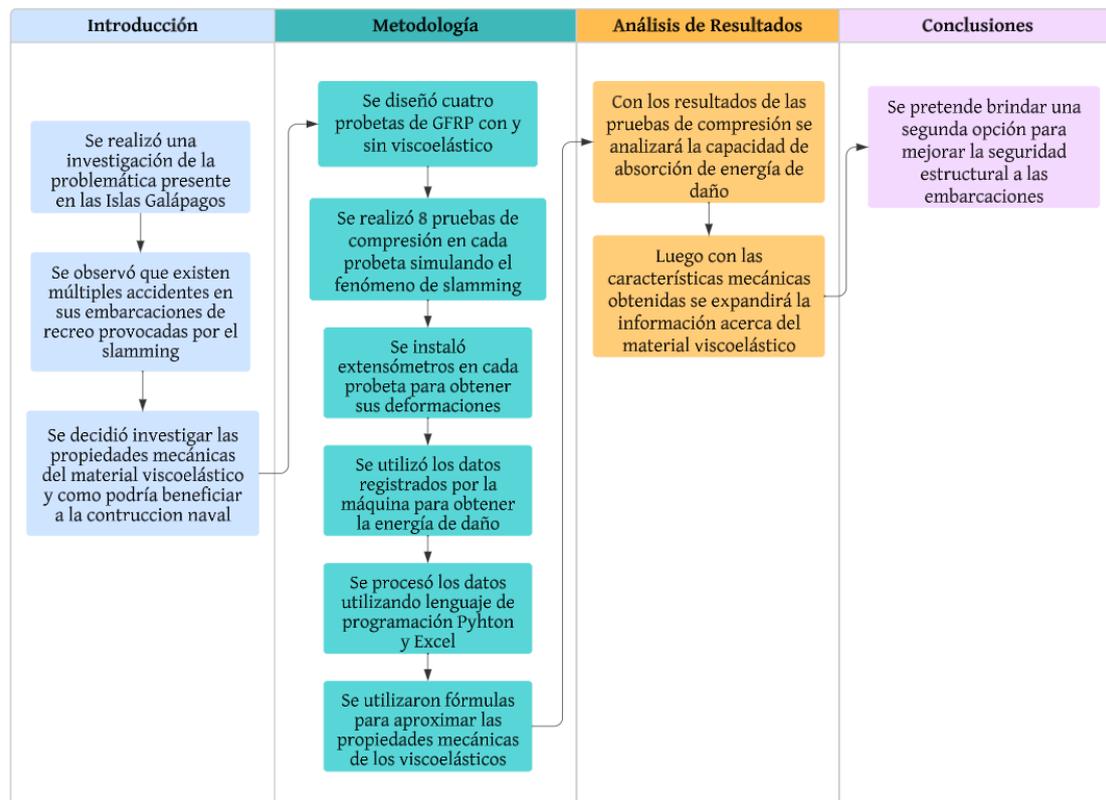
En relación con lo mencionado, se ejecutaron 8 impactos de cargas cíclicas con el objetivo de simular el efecto del slamming por cada espécimen. Luego, se procesó los datos recolectados como son, la fuerza, el desplazamiento del pistón, las deformaciones unitarias y el tiempo en cada prueba, utilizando el lenguaje de programación Python. Posterior a esto, con la interfaz de Excel proporcionada por Microsoft Office se realizó los cálculos pertinentes para encontrar el comportamiento mecánico del material viscoelástico y graficar la diferencia entre ambos especímenes de GFRP.

En cuanto a las pruebas, estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Geotecnia y Construcción en la Facultad de Ingeniería en Ciencia de la Tierra (FICT), utilizando la máquina SHIMADZU UH-11FX.

Por otro lado, se presenta un diagrama de flujo donde se resume el trabajo realizado en este proyecto de titulación.

Figura 2.1

Diagrama de flujo del proyecto



2.1 Descripción de los equipos

2.1.1 Máquina SHIMADZU UH-11FX

El equipo UH-11FX fabricado por la empresa SHIMADZU, este puede realizar diferentes tipos de pruebas mecánicas, ya que está equipada con pistones hidráulicos, que permiten desplazar la mesa de trabajo (véase Figura 2.2). Esta máquina tiene la capacidad de realizar ensayos de tensión y flexión, controladas por un ordenador, (SHIMADZU DO BRAZIL, 2023). Además, el límite de este instrumento tiene una fuerza de acción de 500 kN y puede ser controlado por fuerza, desplazamiento, esfuerzo y tiempo.

Figura 2.2

Máquina SHIMADZU UH-11FX



Fuente: Obtenido de (SHIMADZU, 2023)

2.1.2 Equipo National Instruments

Por otro lado, en este proyecto se utilizó el equipo creado por la empresa National Instruments, que se encarga de diseñar softwares para la medición en el campo de la ingeniería. Estos equipos son compatibles con el programa LabVIEW o Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, que es un entorno amigable para el usuario, permitiendo la adquisición de datos. De esta manera, con el uso de galgas extensométricas se midió las deformaciones en las probetas de GFRP con y sin viscoelásticos (véase Figura2.3).

Figura 2.3

Equipo de adquisición de datos



Fuente: Obtenido de (TecnoEdu, 2023)

2.2 Diseño de probetas

Para el diseño de las probetas se utilizó materiales como: resina preparada, estireno, cera desmoldante, alcohol polivinílico, catalizador, tela MAT 375, tela ROB 400 y barras de madera. Por consiguiente, se construyeron las 4 probetas con dimensiones de 25 cm x 25 cm, colocando las barras de madera en sus costados para simular el empotramiento de una plancha. En la figura 2.4 se visualiza el desmolde de los dos tipos de probetas luego del proceso de curación. Donde, a la izquierda se tiene la probeta GFRP sin viscoelástico y a su derecha se encuentran las probetas añadidas el material viscoelástico.

Luego, se soldaron los extensómetros en cada probeta, con el objetivo de obtener las deformaciones provocadas por la acción de la fuerza de la máquina de flexión en el centro de estas.

Figura 2.4

Desmolde de especímenes para el proyecto



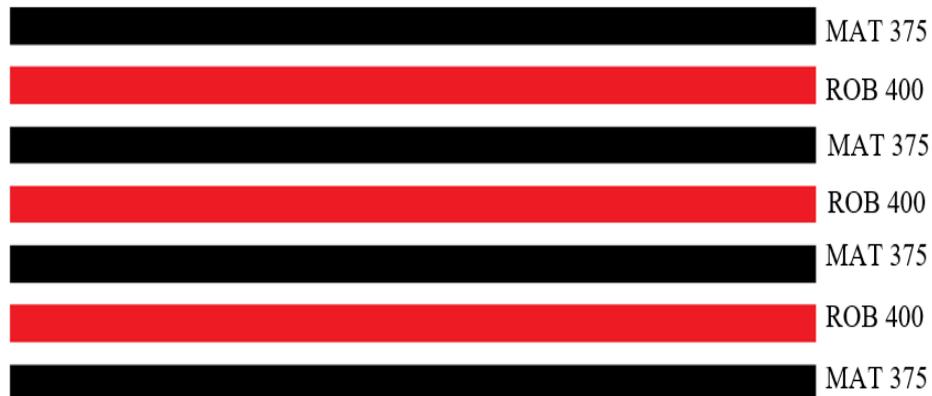
2.2.1 Diseño laminar sin viscoelástico

El diseño seleccionado para este espécimen es una aproximación del método de construcción de las embarcaciones en fibra de vidrio. Este diseño fue previamente aprobado por el PhD. Townsend, quien es un especialista en la construcción y diseño de este tipo de

barcos. De esta manera, para la construcción de las probetas sin viscoelásticos se siguió el orden indicado en la figura 2.5.

Figura 2.5

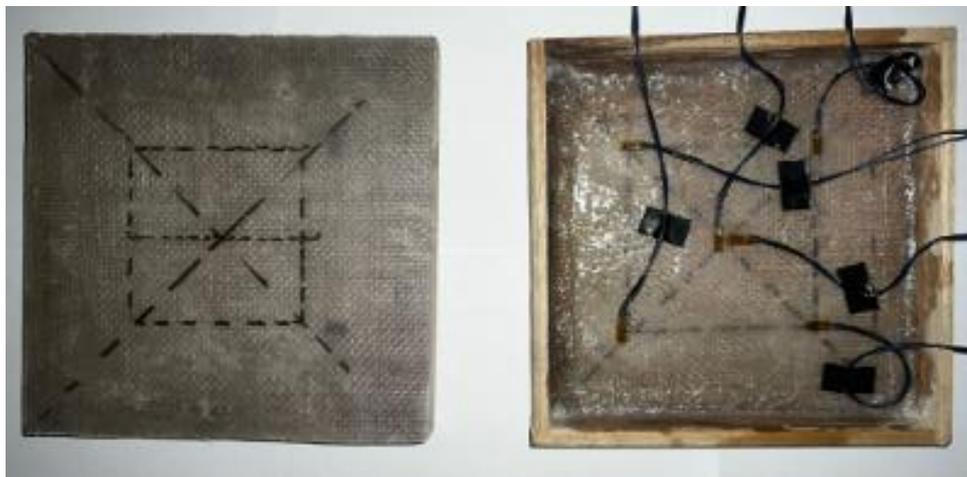
Diseño laminar de probeta sin viscoelástico



Posterior a esto, en la figura 2.6 se visualiza la probeta totalmente construida junto con sus respectivos extensómetros soldados en la plancha de GFRP.

Figura 2.6

Espécimen final sin viscoelástico



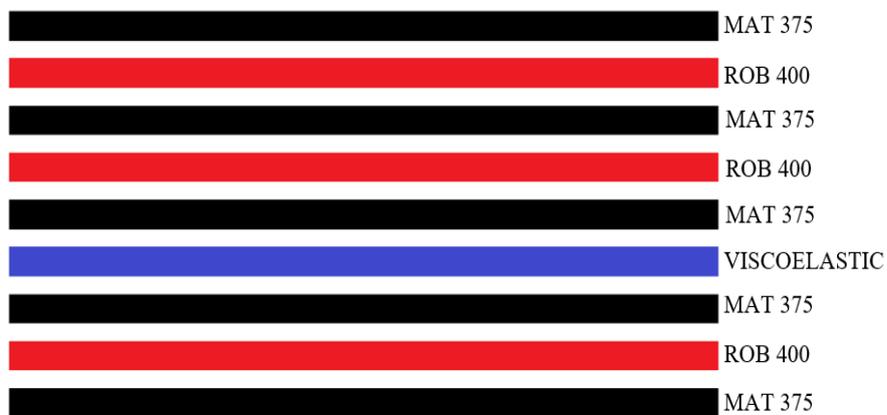
2.2.2 *Diseño laminar con viscoelástico*

En lo que respecta a la probeta con viscoelástico se siguió el orden de fabricación

indicado en la figura 2.7. Donde se observa específicamente el lugar donde fue introducido el material viscoelástico de segunda generación entre las capas de tela MAT 375.

Figura 2.7

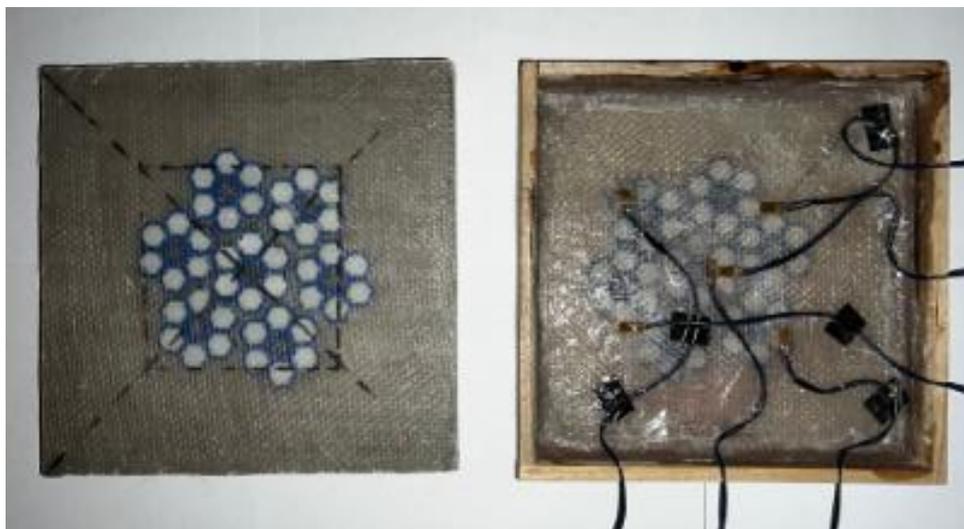
Diseño laminar de probeta con viscoelástico



Asimismo, en la figura 2.8 se presenta el resultado final de la probeta con viscoelástico, donde se observan sus respectivos extensómetros.

Figura 2.8

Espécimen final con viscoelástico con las galgas extensométricas



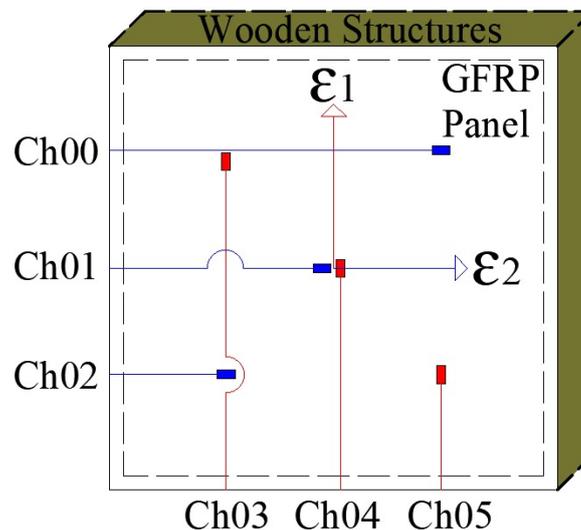
2.2.3 Esquema de los extensómetros

Como se observa en las figuras 2.6 y 2.8 los extensómetros se ubicaron en dos

direcciones, con el objetivo de medir las deformaciones en ambos sentidos. De esta manera, se presenta el esquema y los canales que representa cada extensómetro. Cabe recalcar que dicha configuración fue la misma para las cuatro probetas, véase figura 2.9.

Figura 2.9

Esquema de las direcciones de las deformaciones por las galgas extensométricas



2.3 Descripción de la prueba de flexión

En primer lugar, se colocó la probeta centrada en la máquina de flexión para que el cilindro actúe en el centro de esta, tal como se visualiza en la figura 2.10. Por otro lado, se ubicó un foam encima del espécimen para que el cilindro no ejerza una fuerza de contacto directa en la plancha y la destruya por cizalla, ya que este proyecto está centrado en la zona lineal del comportamiento del material.

Figura 2.10

Presentación de la probeta con la máquina de flexión



Entonces, para la ejecución de las pruebas de flexión, se utilizó el equipo UH-11FX, el national instruments y con la computadora anexada a la máquina se programaron 8 cargas cíclicas en un intervalo de 20 N a 7 000 N reproduciendo la acción del slamming en la probeta. De esta manera, se registró el tiempo, el desplazamiento del pistón y fuerza por cada impacto en su respectiva probeta en un tiempo aproximado de 90 minutos por probeta.

Por otro lado, mediante el equipo de national instruments y el programa LabVIEW se recolectó las mediciones de los extensómetros ubicados en la plancha. Este software permitió la adquisición de las deformaciones que iban ocurriendo en la placa a lo largo de la acción del pistón en el centro de esta.

Figura 2.11

Espacio de trabajo para las pruebas de flexión



2.4 Ecuaciones desarrolladas

2.4.1 Cálculo de la presión de slamming

En primer lugar, para obtener la presión provocada por el fenómeno del slamming en el fondo de la embarcación se utilizó la sociedad clasificadora American Bureau of Shipping (ABS). En específico, el volumen de High Speed Craft Part 3: Hull Construction and Equipment, centrándose en el capítulo 2: estructuras y arreglos del casco, de la sección 2: presiones de diseño, en el apartado 1, inciso 1.1.2. (American Bureau of Shipping, 2023) menciona que, la presión de diseño en el fondo de una embarcación producida por slamming puede ser calculada por la ecuación 2.1.

$$P_{bxx} = \frac{N_1 * \Delta}{L_w * B_w} * [1 + n_{cg}] * F_D * F_V \left[\frac{kN}{m^2} \right] \quad (2.1)$$

Donde:

P_{bxx} = Presión en el fondo de la embarcación.

L_w = Línea de agua.

B_w = Manga máxima a la línea de agua.

N_1 = Constante.

Δ = Desplazamiento.

n_{cg} = Aceleración vertical.

F_D = Factor de área.

F_V = Factor de la distribución de la aceleración vertical.

Luego, con la presión de diseño calculada se obtuvo la fuerza de diseño producida por el slamming. Esta fuerza fue calculada con la ecuación 2.2.

$$F_{bxx} = P_{bxx} * \text{Área} [kN] \quad (2.2)$$

Donde:

F_{bxx} = Fuerza de diseño por acción del slamming.

P_{bxx} = Presión de diseño por slamming.

Área = Área de contacto.

Con dicha fuerza, se procedió a programar la máquina de ensayo universal, obteniendo un rango de acción entre 7 kN y 20 N.

2.4.2 Cálculo para obtener la energía de daño

Por otra parte, para estudiar la capacidad de absorción de energía se utilizó los datos de la máquina de ensayos a partir de la relación entre la fuerza ejercida en la probeta y el desplazamiento de la mesa de trabajo. Con esto, se logró caracterizar la respuesta de las probetas al ser expuestas a cargas cíclicas, para revelar su capacidad de disipar energía. Siendo así, se utilizó la gráfica de fuerza vs desplazamiento y se obtuvo el área bajo la curva, por medio de integración numérica, donde se usó la ecuación 2.3 y permitió conocer el comportamiento energético de cada probeta.

$$Energía = \int_a^b f(x)dx = \int_a^b f_i * dx \quad (2.3)$$

Donde:

$f(x)$ = Función a integrar.

Δx = Espaciamiento.

Posteriormente, se utilizó principios de mecánica donde se obtuvo la cantidad de energía en la primera y última carga. Con el objetivo de cuantificar la eficiencia en la absorción de energía entre una probeta de GFRP con y sin viscoelástico. Para esto, se utilizó la ecuación 2.4, donde una diferencia de energía equivale a la fuerza multiplicada por un diferencial de desplazamiento. Luego mediante la integración de ambos términos se obtuvo la ecuación 2.5 y se la reescribió a la ecuación 2.6.

$$\delta E = F * \delta d \quad (2.4)$$

$$E = \int_a^b F * \delta d \quad (2.5)$$

$$E_{total} = \sum_0^{d_{final}} F * \Delta d [Joule] \quad (2.6)$$

Donde:

E = Energía de daño.

F = Fuerza ejercida en la probeta.

d = Desplazamiento.

Finalmente, como el objetivo es comparar la integridad de las probetas mediante la energía de daño a la que cada una estuvo expuesta, se utilizó la ecuación 2.7 y 2.8 para obtener la diferencia energética entre el inicio y el fin de la prueba. Así, se observó el comportamiento de los especímenes al enfrentarse al fenómeno del slamming.

$$\Delta E = F * \Delta d \quad (2.7)$$

$$\Delta E = E_{test1} - E_{test8} \quad (2.8)$$

Donde:

E_{test1} = Energía recibida al iniciar la prueba.

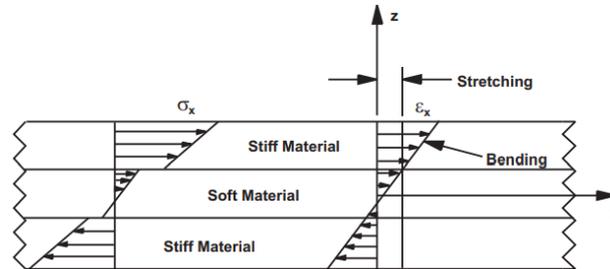
E_{test8} = Energía recibida al finalizar la prueba.

2.4.3 Cálculo para obtener los esfuerzos en el laminado

En este apartado se tomó en cuenta las direcciones establecidas en el laminado, figura 2.9, ya que se relaciona con las nomenclaturas de los esfuerzos y deformaciones. En la figura 2.12 se ilustró el comportamiento de un material compuesto al ser sometido a una deformación que es distinto al de uno isotrópico, ya que su módulo de corte es menor según (Barbero, 2011); requiriéndose un estudio de orden matricial por el número de capas que componen el laminado.

Figura 2.12

Comportamiento de un material compuesto sometido a deformación.



Nota: Se obtuvo de (Barbero, 2011)

Según (Barbero, 2011), al haber estudiado la macro mecánica de materiales compuestos, la ecuación de rigidez aplicada a laminados es:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{11} & B_{11} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{11} & B_{11} & B_{11} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{11} & B_{11} & B_{11} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{44} & H_{45} \\ H_{45} & H_{55} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix}$$

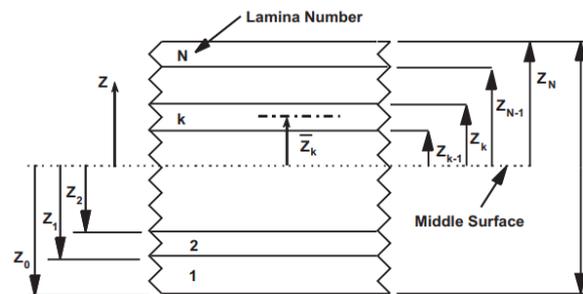
Donde se tiene que:

$$\begin{aligned} A_{ij} &= \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1}); i, j = 1, 2, 6 \\ B_{ij} &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2); i, j = 1, 2, 6 \\ D_{ij} &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3); i, j = 1, 2, 6 \\ H_{ij} &= \frac{5}{4} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij}^*)_k \left[t_k - \frac{4}{t^2} \left(t_k z_k^2 + \frac{t_k^3}{12} \right) \right]; i, j = 4, 5 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Es importante mencionar que estas ecuaciones toman en cuenta un laminado de N capas como en la figura 2.13.

Figura 2.13

Geometría de un laminado.



Nota: Se obtuvo de (Barbero, 2011)

La matriz de 6×6 , en la ecuación 2.9, es llamada la matriz de rigidez, compuesta de 3 submatrices (3×3):

- [A] es la matriz de rigidez en plano que relaciona las deformaciones en plano con las fuerzas en plano.
- [D] es la matriz de rigidez a la flexión ya que relaciona las curvaturas con los momentos flectores.
- [B] es la matriz de rigidez a flexión-extensión ya que relaciona tanto las deformaciones en plano con los momentos flectores como las curvaturas con las fuerzas en plano.
- [H] es la matriz que relaciona deformaciones de corte transversal con las fuerzas cortantes transversales

El modelo de laminado en este proyecto se trata de uno simétrico, entonces [B] es cero; y añadiendo que no existen acoplamientos, [H] es cero. Por consiguiente, la ecuación 2.9 se reduce a:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1/\Delta & \nu_{12}E_2/\Delta & 0 \\ \nu_{12}E_2/\Delta & E_2/\Delta & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \gamma_6 \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

Donde

- $\Delta = 1 - \nu_{12}^2 \frac{E_2}{E_1}$ (2.12)

- $\gamma = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{2}$ (2.13)

E_1 : módulo de elasticidad en dirección de las fibras

E_2 : módulo de elasticidad en dirección transversal de las fibras

2.4.3.1 *Radio de Poisson en el plano*

Para la estimación del radio de Poisson en el plano, ν_{12} , se puede expresar de la siguiente forma.

$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m V_m \quad (2.14)$$

Los subíndices m y f hacen referencia a la matriz y la fibra del compuesto laminado respectivamente. Mientras que V hace referencia a la fracción volumétrica.

2.4.3.2 *Módulo de elasticidad*

Para la estimación de los módulos de elasticidad de cada lámina, E, se usó el método de Tsai-Halpin, (Halpin et al., n.d.).

- Para la dirección longitudinal:

$$E_1 = E_m + V_f(E_f - E_m) \quad (2.15)$$

- Para la dirección transversal

$$E_2 = E_m \left[\frac{1 + \zeta \eta V_f}{1 - \eta V_f} \right]$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) - 1}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) + \zeta} \quad (2.16)$$

De las ecuaciones 2.15 y 2.16, los subíndices m y f hacen referencia a la matriz y la fibra del compuesto respectivamente. Mientras que V hace referencia a la fracción volumétrica.

Entonces, para obtener el módulo de Young total del laminado, E_T , se debe aplicar:

$$E_T = \sum \frac{E_i t_i}{\sum t_i} \quad (2.17)$$

E_i : módulo de Young de cada capa

t_i : espesor de cada capa

2.4.3.3 *Módulo de corte*

Para el cálculo del módulo de corte del laminado, G, se puede aproximar mediante:

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{V_m}{G_m} + \frac{V_f}{G_F} \quad (2.18)$$

Los subíndices m y f hacen referencia a la matriz y la fibra del compuesto respectivamente. Mientras que V hace referencia a la fracción volumétrica.

2.4.3.4 *Fracciones volumétricas*

Son propiedades de un material compuesto que es controlado por el volumen relativo de la fibra y matriz usada, (Barbero, 2011).

- Fracción volumétrica de la fibra

$$V_f = \frac{\text{Volume of fiber}}{\text{Total volume}} \quad (2.19)$$

- Fracción volumétrica de la fibra

$$V_m = \frac{\text{Volume of matrix}}{\text{Total volume}} \quad (2.20)$$

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo se presenta los resultados de la experimentación en las 4 probetas de GFRP. Estas pruebas fueron realizadas con el objetivo de buscar las propiedades mecánicas de las capas viscoelásticas de segunda generación. Así pues, se espera mejorar la integridad estructural de los yates al enfrentarse con el fenómeno del slamming.

Para el análisis de resultados se tomará en cuenta el comportamiento de los esfuerzos, fuerzas y deformaciones de las probetas. Estos serán ilustrados en gráficos para apreciar las diferentes propiedades mecánicas del material.

3.1 Resultado de la fuerza ejercida por el slamming según ABS

Primero, se presenta la fuerza obtenida según las formulaciones del capítulo 2 por la clasificadora ABS y la seteada en la máquina de ensayos universales (Tabla 3.1).

Tabla 3.1.

Fuerza de slamming para las pruebas de flexión

Fuerza de flexión	
ABS	6.29 kN
Máquina de ensayos	7 kN

Como se puede apreciar, la fuerza obtenida según ABS es de 6.29 kN que es la fuerza de acción por el slamming en el fondo de la embarcación. Por otro lado, la fuerza que se configuró en la máquina para realizar las pruebas fue de 7kN con el objetivo de considerar un factor de seguridad. Esto por la omisión de la interferencia entre el tren de olas y las formas del yate y debido a que las pruebas realizadas fueron cuasi estáticas y representan un instante de tiempo.

3.2 Resultados y análisis de las deformaciones en los especímenes

Previo a los análisis de los resultados es importante recordar las direcciones de los extensómetros y las posiciones en las que se soldaron, ver figura 2.9. Ya que, esto permitió estudiar el comportamiento de las deformaciones y esfuerzos dentro del área de acción del pistón.

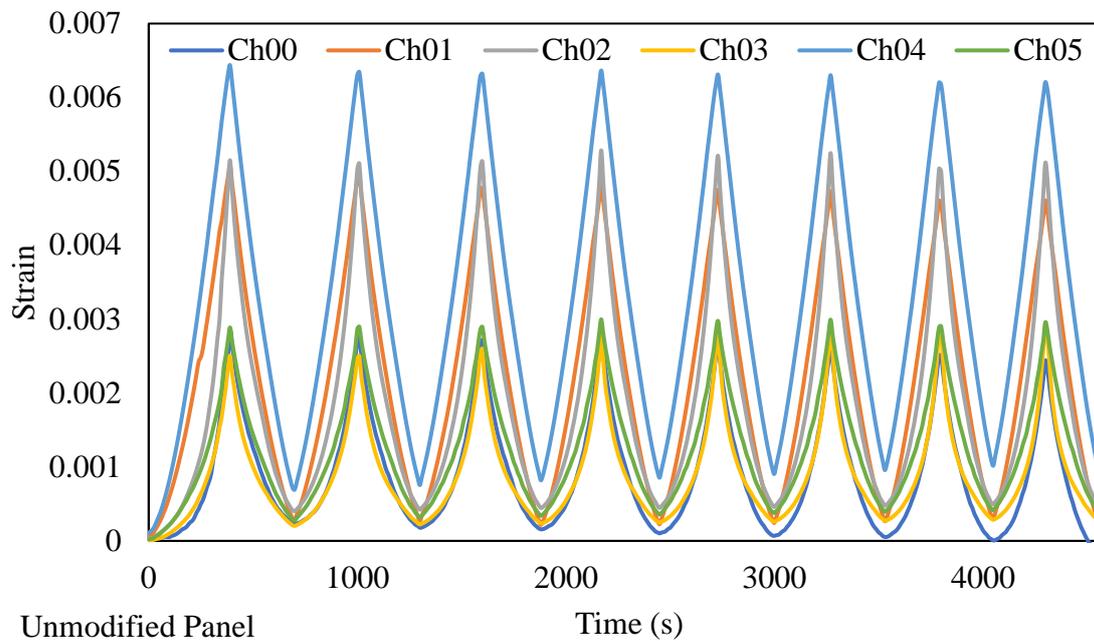
3.2.1 *Probeta sin viscoelástico*

Al finalizar la prueba de flexión en la probeta de GFRP sin viscoelásticos, se observó (Figura 3.1) que el extensómetro 4 ubicado en el centro en dirección ε_2 presenta la mayor curva de deformación en los 8 impactos. Luego, las señales que continúan con un comportamiento similar son los canales 2 y 1, esto tiene sentido ya que los extensómetros 1 y 4 se ubicaron en el centro de la probeta y experimentaron una mayor deformación que los extensómetros ubicados en las esquinas. Aun así, en comparación a los canales 0, 3 y 5 que estaban ubicados en las esquinas se observa que la señal del canal 2 es mayor, esto pudo ser ocasionado por la posición en la que fue colocada la placa, afectando la presión ejercida en el área de la probeta.

Asimismo, se registró que la mayor deformación es de 0.0063 en el extensómetro 4 y la menor deformación se obtuvo en el extensómetro 3 con un valor de 0.0025. Estos resultados son coherentes, ya que los datos recolectados por el medidor de deformación del canal 3 estaba ubicado en la esquina superior izquierda y la acción del pistón es menor en comparación a la señal registrada por el extensómetro 4 que estaba en el centro del espécimen.

Figura 3.1

Gráfica de deformación vs tiempo para la probeta sin viscoelástico



3.2.2 *Probeta con viscoelástico*

Por otro lado, la figura 3.2 presenta el comportamiento de las deformaciones en la probeta de GFRP con las láminas viscoelásticas. En primera instancia, al realizar una inspección visual se notó que las curvas de deformación presentan una mejor distribución en comparación a la figura 3.2. Es decir, el viscoelástico permitió que la fuerza ejercida por el pistón se redistribuya a lo largo del panel.

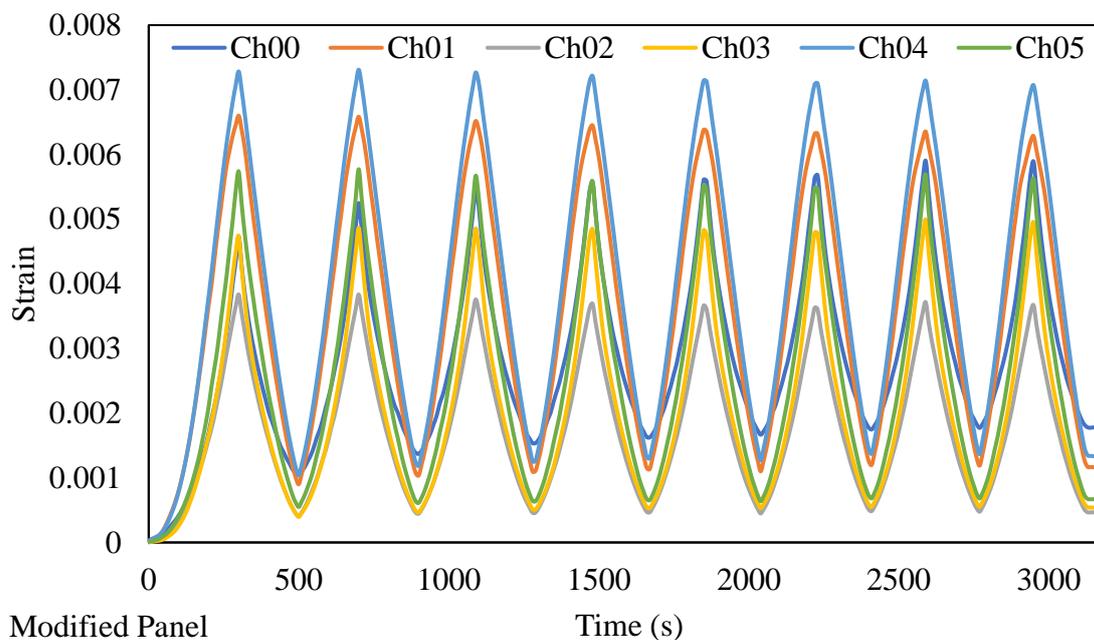
Además, se registraron que las deformaciones en los extensómetros 1 y 4 son de 0.0073 y 0.0066, respectivamente. Estos resultados son mayores que los obtenidos en la probeta sin viscoelásticos, significando que este espécimen tuvo una mayor flexión debido a las propiedades químicas que componen el material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) como por ejemplo el butadieno que permitió absorber el impacto y aumentar la resistencia mecánica del laminado. Al contrario, el extensómetro con menor deformación fue la señal

recibida por el canal 2, ubicada en la esquina inferior izquierda, con un valor de 0.0038, provocado por un bajo nivel en la interacción entre el pistón y dicho extensómetro.

Finalmente, al examinar las señales de los extensómetros 0, 3 y 5 se observó que las deformaciones son mayores que la probeta de GFRP sin viscoelásticos. Debido a la acción de las capas viscoelásticas ya que hubo una mayor absorción de la fuerza de impacto y un aumento en la flexibilidad del material compuesto.

Figura 3.2

Gráfica de deformación vs tiempo para la probeta con viscoelástico



3.3 Resultados y análisis de los impactos de la máquina de flexión.

Como punto de partida, en las figuras 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se observa el patrón obtenido de las pruebas realizadas a las cuatro probetas de GFRP, relacionando la fuerza ejercida por el pistón en newtons y el desplazamiento de la mesa de trabajo en milímetros.

3.3.1 *Probeta sin viscoelásticos*

En primer lugar, para la probeta sin modificaciones se tuvo que el desplazamiento máximo fue de 33.2 mm y 33.4 mm para la prueba 1 y 2, respectivamente. También, se visualizó que ambas pruebas presentan un cambio de la curva entre el primer impacto y el segundo provocado por la deformación y fuerza de restauración del material compuesto.

Figura 3.3

Prueba de flexión 01 para el espécimen sin viscoelástico

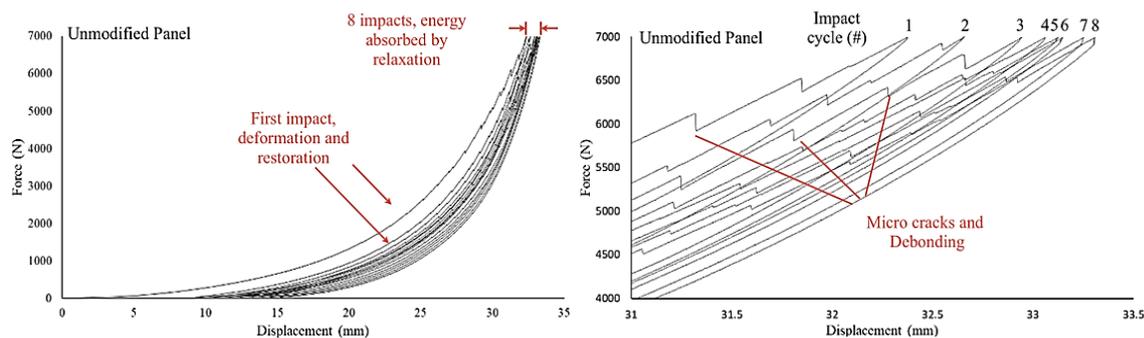
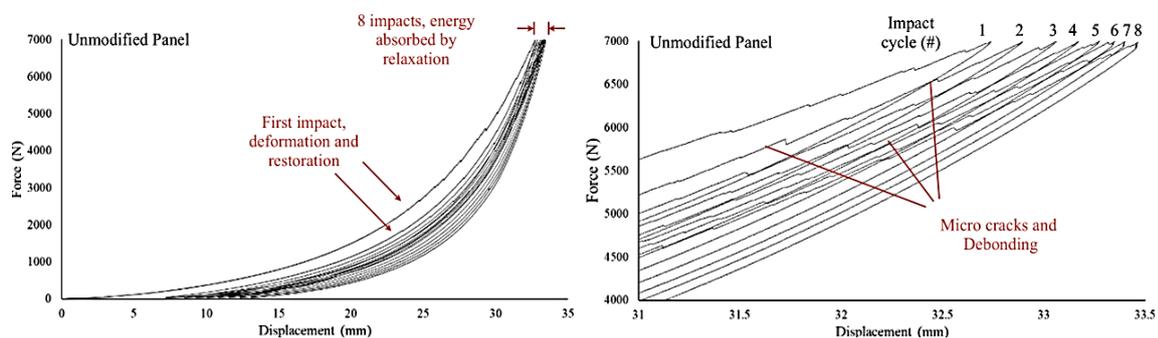


Figura 3.4

Prueba de flexión 02 para el espécimen sin viscoelástico



3.3.2 *Probeta con viscoelásticos*

Por otro lado, en lo que respecta a las probetas con viscoelástico se observó un desplazamiento menor en comparación a las anteriores graficas. Con resultados de 22.58 mm y 29.55 mm esto es por las láminas viscoelásticas de los paneles. Además, se evidencia en las

figuras 3.5 y 3.6 ciertas microfracturas y despegamiento de las láminas del material compuesto representadas por los cambios de sección en dichas curvas. Esto quiere decir que en comparación a la probeta GFRP sin modificar, esta tiene la capacidad de resistir a la fuerza mecánica sin perder las propiedades de rigidez y aumentando la flexibilidad.

Figura 3.5

Prueba de flexión 03 para el espécimen con viscoelástico

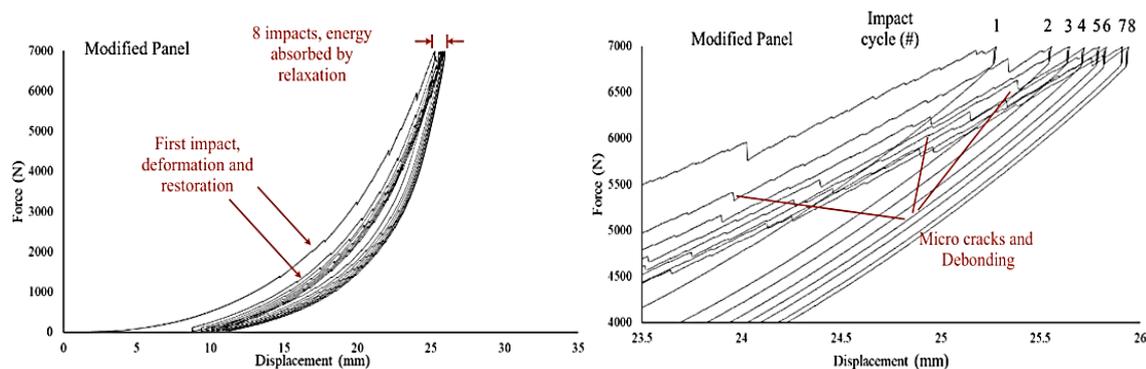
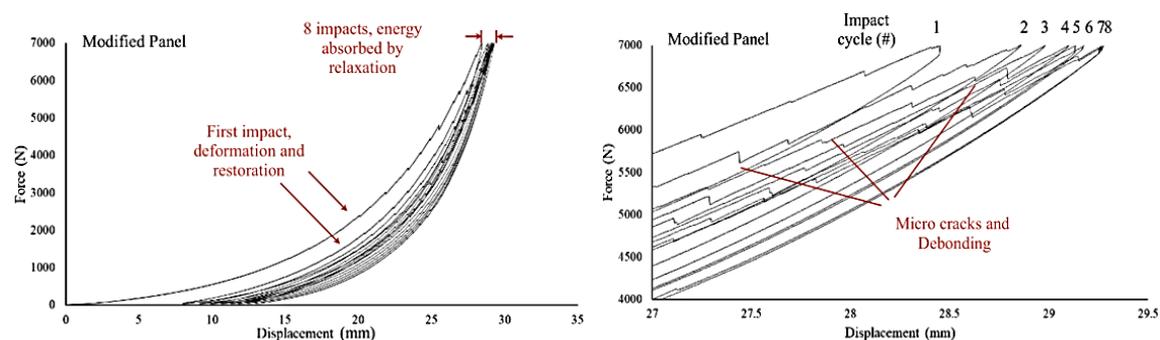


Figura 3.6

Prueba de flexión 04 para el espécimen con viscoelástico



3.4 Resultados y análisis de la energía de daño y acumulada de las probetas

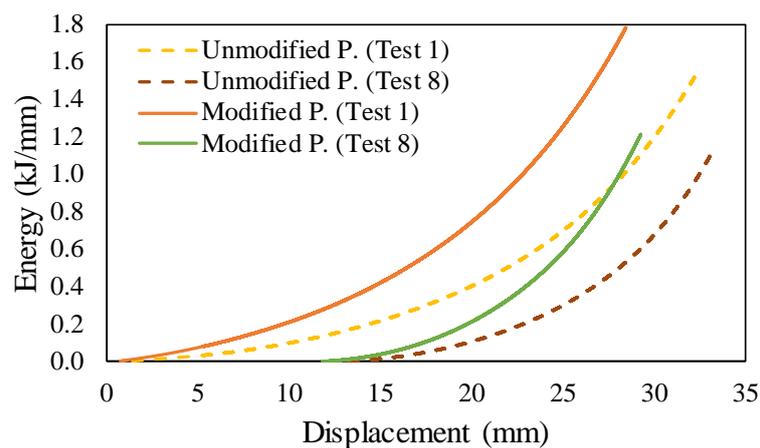
En primera instancia, se presenta la figura 3.7 donde se observó el comportamiento de la energía acumulada en el primer y último impacto para ambos paneles. En este punto, se notó que las curvas que pertenecen al panel sin modificar acumularon una razón de 1.5 kJ/mm en la primera prueba con un desplazamiento de 32 mm y de 1.1 kJ/mm en la última

prueba con un desplazamiento de 33 mm. Se puede notar que debido a los múltiples impactos en el panel provocaron que las microgrietas cedieran a la fuerza de flexión, por lo que la máquina tuvo que hacer un menor trabajo para lograr el mismo efecto.

Por otra parte, para las curvas que representan el panel modificado en el primer impacto se obtuvo una razón de 1.8 kJ/mm con un desplazamiento de 26 mm y para el último impacto un valor de 1.2 kJ/mm al desplazarse 28 mm. Con esta información, se infirió la alta interacción que tienen los viscoelásticos en el panel, ya que permitió una mayor absorción de la energía producida por los impactos. Debido a que, al comparar con el otro tipo de panel hubo un crecimiento de 0.3 kJ/mm en el primer impacto, es decir tuvo una mejor adherencia entre las capas laminares permitiendo aumentar la resistencia y su flexibilidad sin afectar la matriz del material compuesto.

Figura 3.7

Energía acumulada en el primer y último impacto en las probetas de GFRP

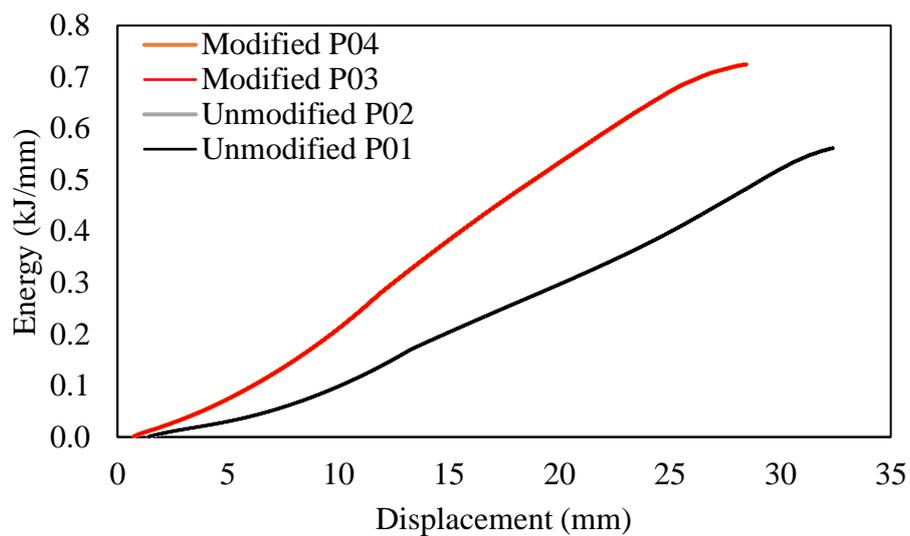


Con respecto a los resultados obtenidos para la energía de daño en las 4 probetas se presenta la figura 3.8. En general, estas curvas tienen una tendencia creciente debido a la cantidad de energía que cada una va absorbiendo provocada por los impactos de la máquina de ensayos al simular el slamming.

La curva del panel modificado es mayor que la del sin modificar por los materiales viscoelásticos, ya que se pudo ver que absorbió una mayor cantidad de energía y obtuvo un menor desplazamiento intra-laminar de sus capas. Además, fue posible identificar que los dos tipos de paneles tuvieron comportamientos muy similares por esto se observó que las curvas de dichos paneles se superponen entre sí.

Figura 3.8

Energía de daño en las cuatro probetas de GFRP



Asimismo, se observó que el panel de GFRP sin modificar alcanza una energía de daño de 0.55 kJ/mm mientras que el espécimen modificado obtuvo un valor de 0.75 kJ/mm. Con estos resultados se notó las propiedades intrínsecas de la lámina viscoelástica, ya que al ser sometida a la misma fuerza de flexión pudo soportar mayor energía de impacto y disipó en mayor magnitud dicha energía.

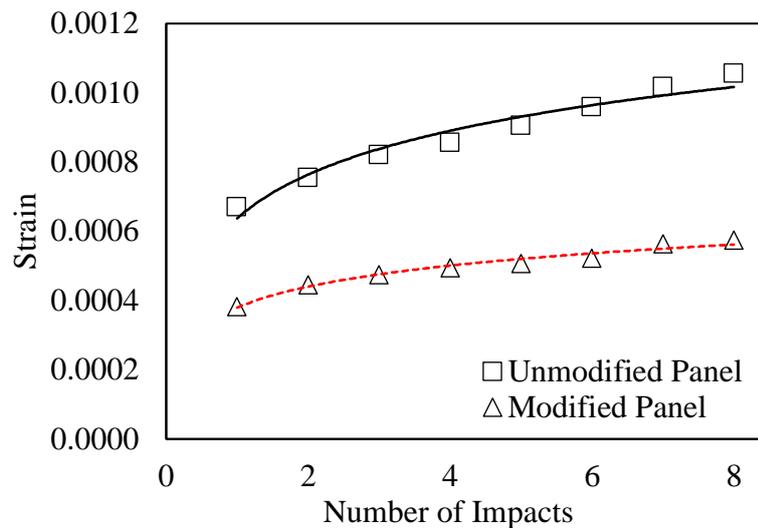
También, es importante rescatar que ambos paneles fueron sometidos a las mismas condiciones, sin embargo, se pudo observar que un panel que no posee capas viscoelásticas en su estructura laminar es capaz de ceder 5 mm más que si las tuviera, implicando mayores daños intra-laminares que disminuirán la vida útil del material.

3.5 Resultados y análisis de la estimación de la elongación a la rotura.

A partir de los resultados de las deformaciones obtenidas experimentalmente en el apartado 3.2, se obtuvieron los mínimos valores de las 8 pruebas realizadas en cada panel. La finalidad fue obtener la tendencia logarítmica del comportamiento para así estimar el número de impactos resistidos hasta llegar a la elongación a la ruptura del material.

Figura 3.9

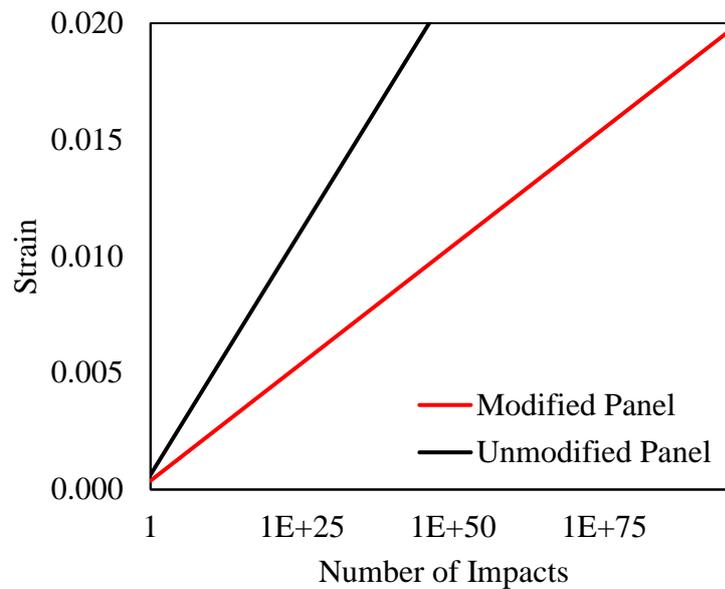
Tendencia de las mínimas deformaciones para ambos tipos de paneles



En la Figura 3.9, los ensayos de flexión mostraron que existen tendencias diferentes para el comportamiento de las deformaciones. El panel sin modificar incrementó rápidamente su valor, lo cual mostró que la cohesión va disminuyendo porque las microgrietas aumentan rápidamente dentro de las capas del laminado disminuyendo su resistencia estructural. En cambio, la placa modificada mantuvo una tendencia cercana a la lineal, lo cual está mostrando que la aparición de microgrietas dentro del laminado es mucho menor.

Figura 3.10

Estimación de la elongación a la rotura para ambos tipos de paneles



Observando la Figura 3.10, se notó que el panel modificado resistió un mayor número de impactos que el otro. Esto sucede debido a los materiales viscoelásticos, que le añadieron la capacidad de devolver una mayor cantidad de energía.

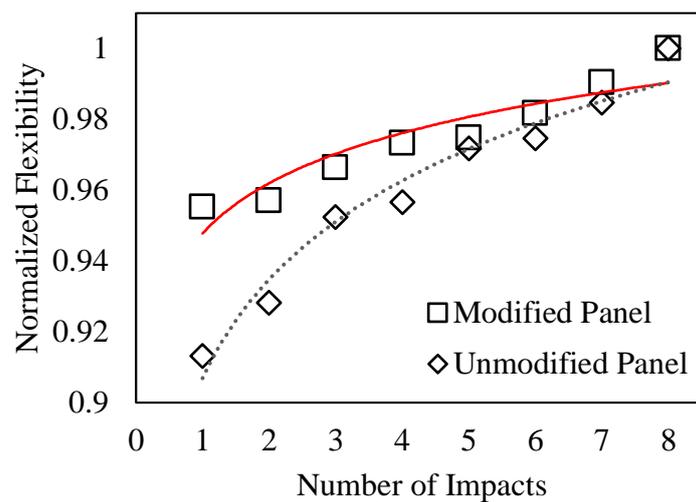
Es importante recordar que, debido a las limitaciones de los equipos de laboratorio, las pruebas fueron realizadas a una velocidad de 5 mm por minuto y las 8 pruebas de flexión cuasi estáticas, simulan en conjunto lo que sucede en un instante de tiempo por el slamming. Como consecuencia a esto existe un alto número de impactos al llegar a la rotura, ya que, si se compara a la vida real, las velocidades son variables permitiendo que se llegue a la rotura en un menor número de impactos.

3.6 Resultado y análisis del comportamiento de los esfuerzos en los paneles

Procesando los datos de deformación y mediante la macro mecánica de laminados, se obtuvieron los esfuerzos permitiendo ilustrar el comportamiento de la flexibilidad de los paneles.

Figura 3.11

Comportamiento de la flexibilidad en los paneles con y sin viscoelásticos



De acuerdo con el material compuesto empleado en los ensayos, es necesario normalizar los resultados para establecer una comparación entre las probetas. Esto permite entender lo que ocurre en la formación de microgrietas en la matriz y los daños que producen delaminaciones. Cabe destacar que con las observaciones de Townsend, (Townsend et al., 2019), estas deben seguir una secuencia escalonada dentro del material compuesto.

Entonces, en la figura 3.11 se observó que la normalización se acerca al máximo conseguido en los ensayos, mostrando un porcentaje mayor de protección en el panel modificado, ya que la flexibilidad normalizada crece con los impactos. Mientras que, en el panel sin modificar decrece indicando que su flexibilidad va en aumento.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

Con el propósito de prolongar la durabilidad de las embarcaciones de GFRP, para mitigar la contaminación por micro plásticos en las Islas Galápagos. Así como, fortalecer la resistencia estructural de los yates para minimizar el impacto causado por el fenómeno del slamming. Es esencial explorar soluciones innovadoras que posibiliten alcanzar estos objetivos, ya que, con la alta demanda turística en estas islas la flota de yates sigue creciendo y con ella la fabricación de embarcaciones de fibra de vidrio.

Por lo que, se decidió estudiar experimentalmente la capacidad que tienen las láminas viscoelásticas de segunda generación en absorber la energía de impacto. Para esto, se realizó una comparación de sus propiedades mecánicas entre probetas con y sin viscoelásticos, siendo expuestas a pruebas de flexión cuasi estáticas. Los resultados obtenidos, permitieron analizar la energía de daño absorbida por cada probeta, junto con su respectiva elongación a la rotura para determinar la vida útil de cada una.

En este proyecto integrador, se exploró un nuevo horizonte de materiales con la capacidad de absorber y disipar energía en su entorno. A pesar de enfrentar desafíos, como las limitaciones en los equipos experimentales y la escasez de información sobre el nuevo material, se logró obtener información valiosa sobre su comportamiento. Permitiendo contribuir a la comunidad científica con nueva información sobre las propiedades mecánicas de este material. Como resultado, se espera que este trabajo sirva como guía para que futuros armadores consideren la implementación de capas viscoelásticas en las construcciones de yates de GFRP.

4.1.1 Conclusiones

- Al estudiar el fondo de la proa de una embarcación de GFRP se logró representar mediante una sección de 250 mm x 250 mm de material

compuesto con empotramiento en los bordes, concluyéndose que la reproducción del diseño laminar para ambos tipos de probetas: modificadas y no modificada viscoelásticamente, permitió la exitosa realización de pruebas de flexión utilizando la máquina de ensayos universales SHIMADZU UH-11FX. Facilitando la evaluación de las propiedades mecánicas y la capacidad de absorción de energía de impacto. Con esto, se observó que la ejecución de este proyecto proporciona un valioso aporte al campo de la ingeniería naval y la investigación de materiales con fines náuticos. Esta nueva tecnología presenta un potencial desarrollo de innovaciones en la construcción naval para mejorar la resistencia y durabilidad de las embarcaciones tanto para las islas Galápagos como para otras localidades en el conjunto acuático del globo terráqueo.

- La comparación entre ambos tipos de probetas revela significativas tendencias en términos de cambios en sus características físicas y la flexibilidad. Es por esto, que al aplicar la teoría de la macro mecánica de laminados se estudió el comportamiento de la influencia directa del material viscoelástico en las probetas. Donde, al normalizar los resultados se observó que debido a las propiedades mecánicas de estas capas viscoelásticas pudo brindar una mayor protección por los impactos recibidos, mientras que para el panel sin modificar la tendencia de su curva indica ciertas microgrietas en su matriz. Concluyendo, que el material viscoelástico mejoró la resistencia y no permitió el aumento flexibilidad tras los impactos al largo del tiempo del panel de GFRP, asegurando una extensa vida útil del material debido a que la flexibilidad está asociada al número de impactos recibidos mejorando sus propiedades

mecánicas y abriendo un nuevo mundo en las aplicaciones navales y estructurales.

- La representación visual de los resultados experimentales a través de gráficos proporciona una herramienta efectiva para analizar y comprender las diferencias en la absorción de energía de daño entre las probetas modificadas con material viscoelástico y las no modificadas. Donde se observó que para ambos paneles las curvas cumplen con una tendencia creciente por la cantidad de energía producida por cada impacto recibido. De esta manera, el panel modificado alcanzó un valor de 0.75 kJ/mm mientras que el panel sin modificaciones obtuvo un valor de 0.55 kJ/mm. En conclusión, las capas viscoelásticas permitieron disipar una mayor cantidad de energía de daño en un 27% debido a una mejora en su cohesión intra laminar y un aumento en su rigidez.
- Los resultados de la prueba revelan que el panel no modificado exhibe pendientes más pronunciadas en comparación con su contraparte modificada, evidenciando diferencias significativas en su comportamiento ante impactos. La resina epoxi comúnmente utilizada en embarcaciones de GFRP tiene una elongación a la rotura del 2%, y al considerar esta característica, se estimó el número de impactos proyectados que cada panel podría resistir. Los datos indican que el panel modificado muestra una menor tendencia a la formación de micro fisuras, sugiriendo una mayor viabilidad para el uso de capas viscoelásticas en embarcaciones de GFRP. Estos hallazgos resaltan la importancia de la modificación estructural para mejorar la resistencia y durabilidad de los materiales en aplicaciones marítimas.

4.1.2 Recomendaciones

En lo que respecta a los equipos utilizados en este trabajo experimental, ya que las pruebas realizadas son cuasi estáticas, se recomienda realizar un convenio con otras universidades las cuales posean equipos de impactos cíclicos como la Universidad Politécnica de Madrid donde se pueda enviar futuras probetas con la misma configuración laminar y lograr determinar propiedades como tenacidad y plasticidad, con el objetivo de ampliar la información de estas capas viscoelásticas.

Debido a las limitaciones existentes en los laboratorios no se pudo desarrollar la elaboración de las probetas en un equipo de autoclave, sin embargo, se motiva a la comunidad científica a continuar con las investigaciones ya que el uso de este tipo de equipos permite realizar controles más precisos de la temperatura y presión durante el proceso de cura del polímero. Esto implica teóricamente un material compuesto con propiedades mecánicas mejoradas.

Para futuras pruebas se recomienda a la comunidad científica utilizar la información obtenida y desarrollarla en una simulación numérica utilizando softwares de métodos con elementos finitos tal como ANSYS y su módulo correspondiente a materiales compuestos, ACP. De esta manera, se puede comparar la información presentada con lo obtenido en dicha simulación permitiendo proyectar estos estudios a una escala mayor como el diseño completo de una lancha planeadora. Esto llevará de la etapa experimental sobre los viscoelásticos al diseño computacional aplicado permitiendo exponer proyectos preliminares de interés en la industria naval.

Referencias

- AmericanBureau of Shipping. (2023). *Rules for Building and Classing High Speed Craft 2023 - Part 3, Hull Construction and Equipment*.
- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los materiales* (Tercera edición).
- Barbero, E. J. (2011). *Introduction to composite materials design*.
- Bensednjak, A. (2005). *MATERIALES COMPUESTOS. Procesos de fabricacion de embarcaciones*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Camilleri, J., Taunton, D. J., & Temarel, P. (2018). Full-scale measurements of slamming loads and responses on high-speed planing craft in waves. *Journal of Fluids and Structures*, 81, 201–229.
<https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2018.05.006>
- EL DIARIO. (2023, September 11). *Lancha con turistas se viró en las Islas Galápagos, los pasajeros fueron rescatados*. <https://www.eldiario.ec/actualidad/lancha-con-turistas-se-volteo-en-las-islas-galapagos-y-pasajeros-fueron-rescatados/>.
- FAO. (1994). *Construcción de embarcaciones pesqueras en fibra de vidrio*. Departamento de Pesca de la FAO.
- Halpin, J. C., Louis, S. T., & Kardos, J. L. (n.d.). *The Halpin-Tsai Equations: A Review*.
- INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ. (2023). *¿Qué es el esfuerzo en los materiales y cómo se calcula?*
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-esfuerzo-en-los-materiales-y-como-se-calcula/>.
- INOCAR. (2023). *Condiciones de oleaje en la costa ecuatoriana desde el 19 hasta el 21 de enero de 2023*. <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/boletines/oleaje-y->

Aguaje/1812-Condicion-de-Oleaje-En-La-Costa-Ecuatoriana-Desde-El-19-Hasta-El-21-de-Enero-de-2023.

Kapsenberg, G. K. (2011). Slamming of ships: Where are we now? In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 369, Issue 1947, pp. 2892–2919).
<https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0118>

Kapsenberg, A., Thornhill, E. T., & Kapsenberg, G. K. (2010). *A Practical Approach to Ship Slamming in Waves*.

Kim, Y. J., Yoshitake, I., & Liu, R. (2014). Composite hull structures subjected to wave-induced slamming impact. In *Journal of Reinforced Plastics and Composites* (Vol. 33, Issue 1). <https://doi.org/10.1177/0731684413499831>

Mateo, M. (2022). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLIURETANOS TERMOPLÁSTICOS BASADOS EN POLICARBONATODIOL. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y LAS PROPIEDADES*. Universitat De València.

Parque Nacional Galápagos, Fernando Caisaguano A., Jorge Flores T., Sandra Gamboa J, Grace Loyola H, Deisy Plaza G., Verónica Santamaría D., Francisco Segura J., Verónica Guerrero, & Alexandra Villarroel S. (2022). *Informe anual ingreso de visitantes a las áreas protegidas de Galápagos del año 2022*.

Perez, M. (2018). *Nueva generación de materiales plásticos basados en ABS de altas prestaciones técnicas o más sostenibles con el medio ambiente*. Universitat Autònoma de Barcelona.

SHIMADZU. (2023). *Máquina de prueba universal UH-X/FX series*.
<https://Www.Directindustry.Es/Prod/Shimadzu-Europa/Product-25210-453799.Html>.

SHIMADZU DO BRAZIL. (2023). *UH-X/FX Series - Características*.

<https://www.shimadzu.com.br/analitica/products/materials-testing/unitm/uh-xfx-series/features.html>.

Siacor, F. D. C., Chen, Q., Zhao, J. Y., Han, L., Valino, A. D., Taboada, E. B., Caldon, E. B., & Advincula, R. C. (2021). On the additive manufacturing (3D printing) of viscoelastic materials and flow behavior: From composites to food manufacturing.

In *Additive Manufacturing* (Vol. 45). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102043>

TecnoEdu. (2023). *NI: Adquisidores de Datos (DAQ) de Banco*.

<https://tecnoedu.com/automatizacion/daqbanco.php>.

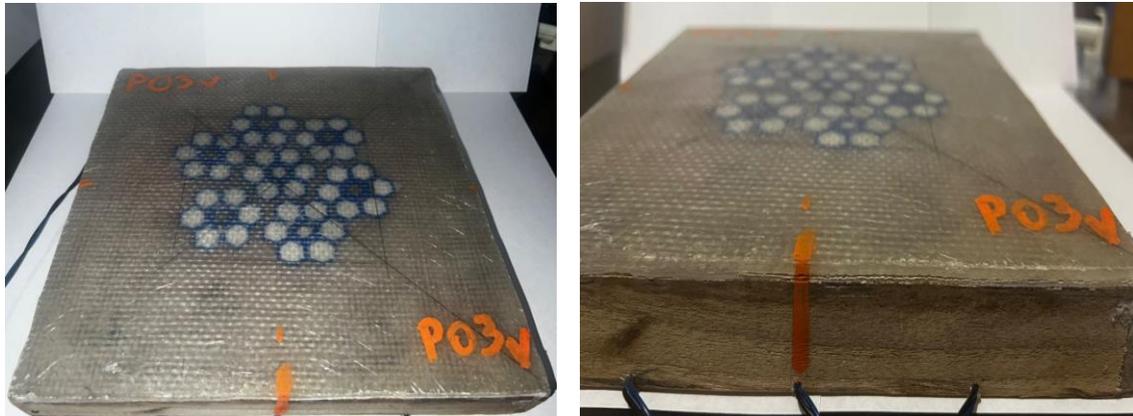
Townsend, P., & Suarez, J. (2018). *COMPORTAMIENTO A IMPACTO DE MATERIALES COMPUESTOS SOMETIDOS A FENÓMENOS DE SLAMMING EN EMBARCACIONES*.

Townsend, P., Suárez, J. C., & Cea, P. P. (2019). The use of viscoelastic sheets, and their future in the shipbuilding of planing hulls of GFRP. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2019-July*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.9>

Apéndice A
Probetas de GFRP con viscoelásticos luego de las pruebas de flexión

Figura A.1

Primera probeta con viscoelástico luego de la prueba de flexión



Nota: Se aprecia que el panel está en óptimas condiciones, a pesar de observarse cierta delaminación entre sus capas.

Figura A.2

Segunda probeta con viscoelástico luego de la prueba de flexión



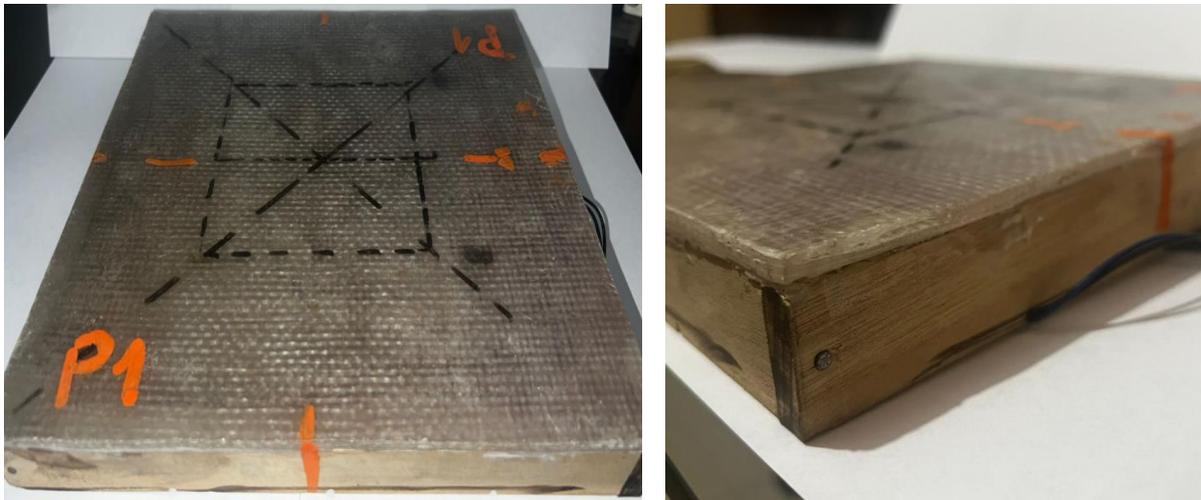
Nota: Se observa que el panel está en óptimas condiciones, pero se recomienda mejorar la condición de frontera de empotramiento.

Apéndice B

Probetas de GFRP sin viscoelásticos luego de las pruebas de flexión

Figura B.1

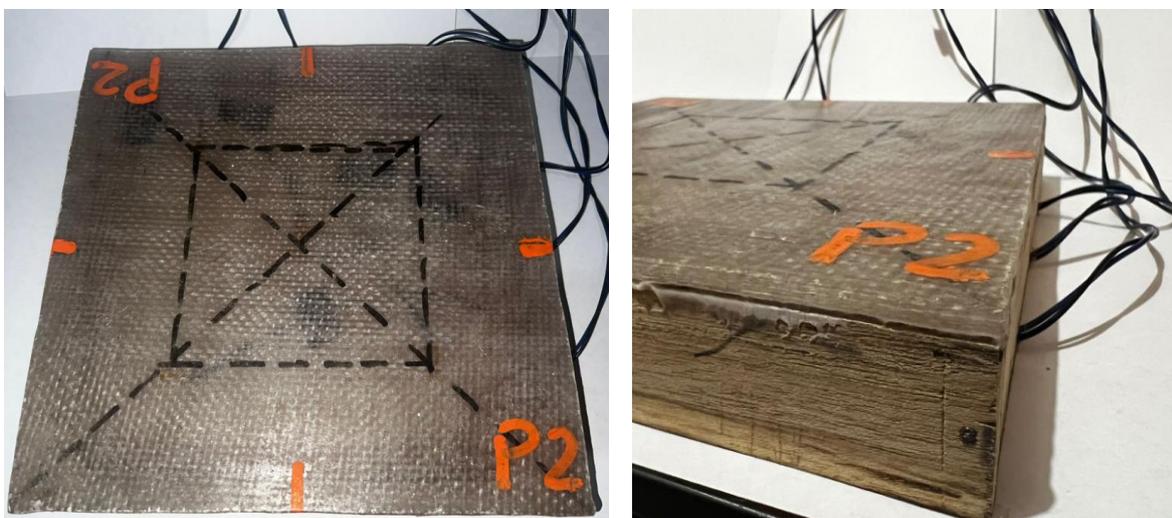
Primera probeta sin viscoelástico luego de la prueba de flexión



Nota: Se observa un desprendimiento en los bordes del panel, junto con una delaminación entre sus capas.

Figura B.2

Segunda probeta sin viscoelástico luego de la prueba de flexión



Nota: Se aprecia un desprendimiento entre el laminado del panel y sus bordes de madera, junto con una delaminación entre sus capas.

Apéndice C

Espacio de trabajo e instrumentos utilizados en las pruebas

Figura C.1

Configuración de los equipos utilizados en las pruebas de flexión



Apéndice D

Programa de Python utilizado para la depuración de datos

#Programa relacionado a la extracción de los máximos y mínimos valores de los desplazamientos y fuerza

```
import pandas as pd
```

```
def process_and_save_data(file_path, output_file, ventana=50000, top_n=8):
```

```
    """
```

Lee un archivo CSV, realiza operaciones en las columnas cada 3 y crea un archivo Excel con los resultados.

Parameters:

- file_path (str): Ruta al archivo CSV de entrada.

- *output_file (str): Nombre del archivo Excel de salida.*

- *ventana (int): Tamaño de la ventana para calcular máximos en intervalos (por defecto 50000).*

- *top_n (int): Número de valores más comunes a encontrar (por defecto 8).*

"""

Leer el archivo CSV directamente con las 15 columnas.

```
df = pd.read_csv(file_path)
```

Obtener el número total de columnas.

```
total_columns = len(df.columns)
```

Diccionario para almacenar los valores más comunes de cada columna.

```
top_values = {}
```

```
for i in range(0, total_columns, 3):
```

```
    # Extraer la primera columna como x.
```

```
    x_ind = i
```

```
    x = df.iloc[:, x_ind]
```

```
    # Seleccionar la columna actual.
```

```
    y_ind = i + 2
```

```
    y = df.iloc[:, y_ind]
```

```
    strokes = y.rolling(ventana).max()
```

```
    col = df.columns[y_ind]
```

```
# Almacenar los 'top_n' valores más comunes de la columna actual.

top_values[col] = strokes.value_counts().nlargest(top_n).index.tolist()

# Crear un DataFrame con los resultados.

df_top_values = pd.DataFrame(top_values)

df_top_values.insert(0, 'N Test', range(1, top_n + 1))

# Eliminar la columna 'Stroke' si existe.

if 'Stroke' in df_top_values.columns:

    df_top_values = df_top_values.drop('Stroke', axis=1)

# Imprimir y guardar el DataFrame.

print(df_top_values)

df_top_values.to_excel(output_file, index=False)

# Ejemplo de uso de la función

file_path = 'combined_data.csv'

output_file = 'MaxVal_StrokeALLtests.xlsx'

process_and_save_data(file_path, output_file)

#Programa relacionado respecto a la transformacion de datos de .lvm a .csv

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

# Replace 'your_file.lvm' with the path to your LVM file
```

```
# Specify the file paths for reading and writing

num='1'

input_file_path = f'p{num}.lvm'

output_file_path = f'prueba{num}.csv'

# Initialize a variable to count lines

line_count = 0

# Open the input file for reading and the output file for writing

with open(input_file_path, 'r') as input_file, open(output_file_path, 'w') as output_file:

    for line in input_file:

        line_count += 1

        if line_count == 23:

            modified_line = line.replace(' Comment', '')

            output_file.write(modified_line)

        elif line_count > 23:

            # Replace commas with periods in the line

            modified_line = line.replace(',', '!')

            # Write the modified line to the output file

            output_file.write(modified_line)

# Print a message indicating the operation is complete

print(f"Removed the first 22 lines, replaced ',' with '!', and saved to '{output_file_path}'.")
```

#Programas relacionados a los esfuerzos y strains de las pruebas experimentales.

```
def leer_excel(file_path):
```

```
    try:
```

```
        # Cargar el archivo Excel
```

```
        excel_file = pd.ExcelFile(file_path)
```

```
        # Obtener los nombres de las hojas
```

```
        hojas = excel_file.sheet_names
```

```
        # Inicializar un diccionario para almacenar los DataFrames
```

```
        dataframes = {}
```

```
        # Leer cada hoja y almacenar el DataFrame correspondiente en el diccionario
```

```
        for hoja in hojas:
```

```
            dataframes[hoja] = excel_file.parse(hoja)
```

```
        # Retornar el diccionario de DataFrames
```

```
        return dataframes
```

```
    except Exception as e:
```

```
        print(f"Error al leer el archivo Excel: {e}")
```

```
        return None
```

```
def crear_matriz_rigidez(e1, e2, v12, g12):
```

```
    delta = 1 - (v12 ** 2) * e2 / e1
```

```
# Crear una matriz de 3x3
```

```
matriz = [  
    [e1 / delta, v12 * e2 / delta, 0],  
    [v12 * e2 / delta, e2 / delta, 0],  
    [0, 0, g12]  
]
```

```
return matriz
```

```
def calcular_vector_resultante(df_subset, punto):
```

```
    vector_strain_e1 = df_subset[punto[0]].values
```

```
    vector_strain_e2 = df_subset[punto[1]].values
```

```
    vector_resultante = (vector_strain_e1 - vector_strain_e2) / 2
```

```
    resultado_df = pd.DataFrame({
```

```
        punto[0]: vector_strain_e1,
```

```
        punto[1]: vector_strain_e2,
```

```
        'Gamma': vector_resultante
```

```
    })
```

```
    return resultado_df
```

```
def procesar_hoja(df):
```

```
    vectores_hoja = {}
```

```
puntos_strain = [['Strain_1', 'Strain_4'], ['Strain_0', 'Strain_3'], ['Strain_2', 'Strain_5']]
```

```
for punto in puntos_strain:
```

```
    nombre_punto = punto[0] + punto[1]
```

```
    # Seleccionar las columnas correspondientes
```

```
    df_subset = df[punto]
```

```
    # Calcular el vector resultante y almacenarlo en el diccionario
```

```
    vectores_hoja[nombre_punto] = calcular_vector_resultante(df_subset, punto)
```

```
return vectores_hoja
```

```
# Programa relacionado a la reducción de datos
```

```
def reduce_and_combine_data(file_paths, output_file, n):
```

```
    """
```

```
    Reduce el número de datos de archivos CSV y guarda los resultados en un archivo Excel  
con múltiples hojas.
```

```
    Parameters:
```

```
    - file_paths (list): Lista de rutas a los archivos CSV de entrada.
```

```
    - output_file (str): Nombre del archivo Excel de salida.
```

```
    """
```

```
# Crea un escritor de Excel.
```

```
with pd.ExcelWriter(output_file, engine='xlsxwriter') as writer:
```

```
# Itera sobre cada archivo CSV y escribe los datos en hojas adicionales.
```

```
for i, file_path in enumerate(file_paths, start=2):
```

```
    df = pd.read_csv(file_path, delimiter='\t')
```

```
    sheet_name = file_path.replace('.csv', '')
```

```
    datos_con_paso_de_n = df.iloc[:,n]
```

```
    datos_con_paso_de_n.to_excel(writer, sheet_name=sheet_name, index=False)
```

```
# Ejemplo de uso:
```

```
input_files = ["prueba1.csv", "prueba2.csv", "prueba3v.csv", "prueba4v.csv"]
```

```
reduce_and_combine_data(input_files, "Reduced5000_StrainGaugetest.xlsx", n=5000)
```