

Estudio de la durabilidad de paneles balísticos en materiales compuestos usados en botes de combate fluvial en condiciones envejecidas por humedad y sujetas a fatiga por impacto

TN Nohora Alejandra Jiménez Abril
PhD Juan Pablo Casas Rodríguez
MSc David Ricardo Alvarado Carvajal



***A PICTURE
IS WORTH A
THOUSAND
WORDS***



AGENDA

01

INTRODUCCIÓN

Descripción de la problemática

02

ESTADO DEL ARTE

Estudios realizados al material

03

METODOLOGÍA

Métodos y procedimientos para el desarrollo del proyecto

04

Materiales y Métodos

Fabricación de probetas y experimentación realizada

05

Resultados y análisis

En modo I y II de falla bajo condiciones cuasi-estáticas y de impactos de baja velocidad

06

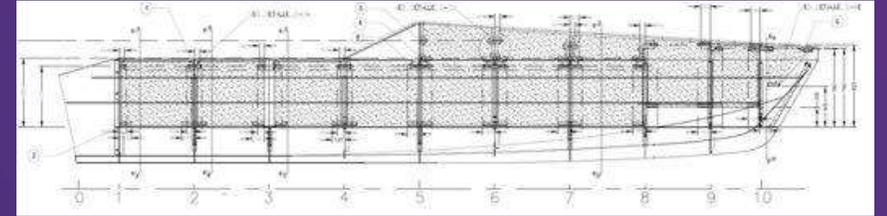
CONCLUSIONES

Descripción de resultados

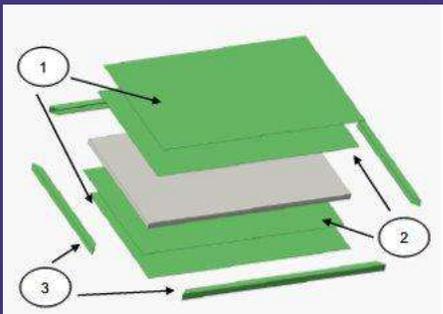
INTRODUCCIÓN



Bote de bajo calado [1]



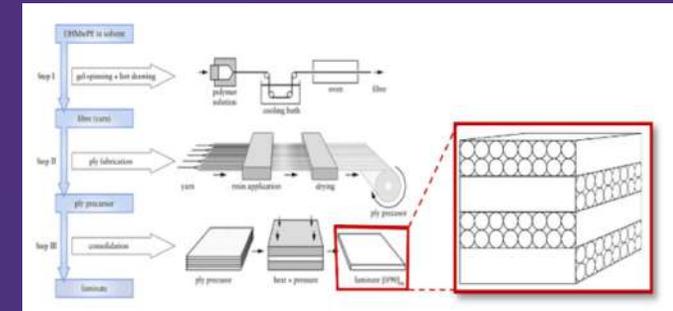
Esquema de blindaje [2]



Encapsulado paneles balísticos (poliéster reforzado con fibra de vidrio y Gelcoat) [3]



Panel de blindaje delaminado [4]



Esquema de blindaje [5]

ESTADO DEL ARTE

Mecánica de la fractura lineal

Es aplicada para verificar la resistencia de un **cuerpo agrietado** y la predicción de la velocidad de **propagación de grietas**, a partir de la distribución de **esfuerzos y deformaciones** presentes en un material sólido

$$G = \frac{P^2}{2B} \frac{dC}{da} \quad \text{Ecuación 1 Criterio de energía}$$

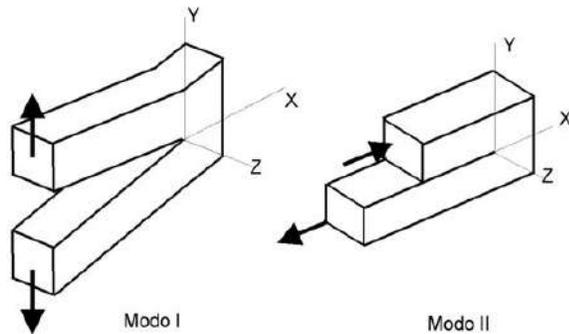
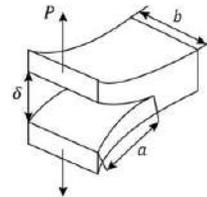
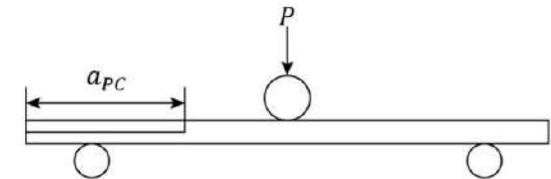


Imagen 1 Modos de deformación de grieta analizados [1]



$$G_{IC} = \frac{nP\delta}{2Ba}$$

Imagen 2 a. Modelo analítico modo I ASTM D7905M (DBC) [5]



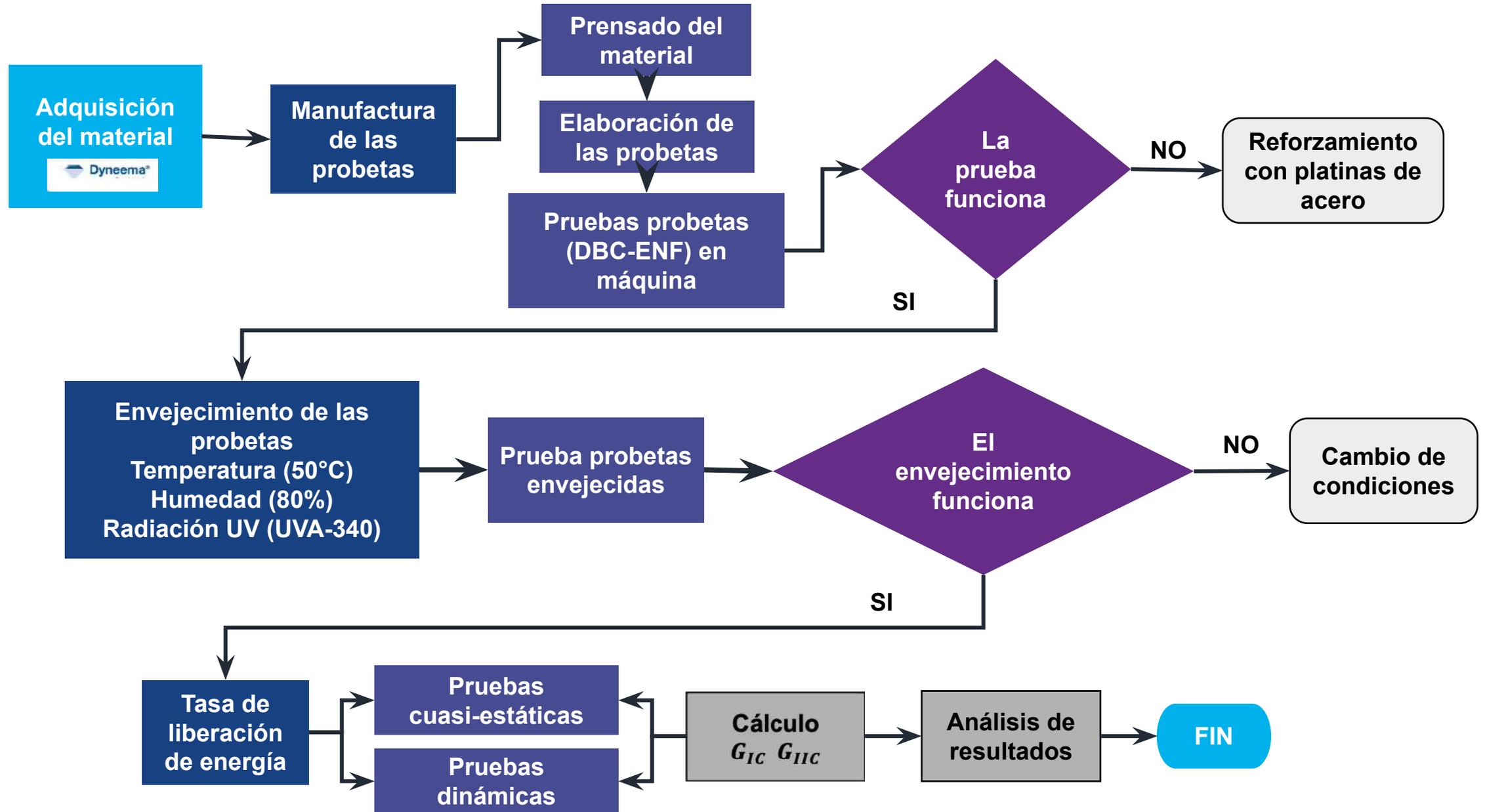
$$G_{IIC} = \frac{3mP_{max}^2 a_{PC}^2}{2B}$$

Imagen 3 a. Modelo analítico modo II ASTM D5528-13 (ENF) [7]

ESTADO DEL ARTE

Efectos en el UHMWPE			
Estudio	Material	Efecto	Resultados
Efecto de las condiciones de procesamiento en las propiedades (Cook, 2010)	SpectraShield 3124 (fibra UHMWPE-resina termoestable)	Variación de temperatura (-80°C a 40°C).	No encontró una diferencia perceptible en la resistencia a la tracción en las fibras unidireccionales de UHMWPE por cambios de temperatura durante el procesamiento, concluyendo que el daño se concentra en la matriz y no en la fibra.
Efectos sobre las propiedades de tracción (Zhang, 2003)	Fibras de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE)	Irradiación UV con luz solar A 300 horas	Las propiedades de tracción de las fibras de UHMWPE se degradaron . Las observaciones SEM indicaron que se encontró un cambio de un mecanismo de fractura dúctil a frágil después de la irradiación UV.
Estudio de la tenacidad a la fractura (Shanmugam, 2019)	Fibras unidireccionales de UHMWPE y resina Elium termoplástica	Reforzamiento superficial de polidopamina (PDA) y nanotubos de carbono (CNT)	La tenacidad a la fractura en Modo I aumentó , por una fuerte adhesión de fibra/matriz después del tratamiento superficial.
Estudio de la tenacidad a la fractura (Y. Zhaoa, 2018)	Híbrido Carbono(C) - Dyneema (D) C-C, D-D	Comportamiento de la delaminación	Mejóro la tenacidad a la fractura tanto en modo I como en modo II que se atribuyó a la fricción entre las superficies rugosas de delaminación.
Influencia de la degradación ambiental en el comportamiento mecánico (Vivas, 2013)	Dyneema HB2® y Spectra Shield SA-1211 (fibra UHMWPE-resina termoplástica)	Agua desionizada a 35 °C y 50°C , Solución salina a 35°C y Radiación UV	Se concluyó que los cambios más severos en el material fueron producto de la radiación UV a través de la escisión de cadena, en comparación con los resultados obtenidos por humedad y temperatura.

METODOLOGÍA



MATERIALES Y MÉTODOS

Fabricación de Probetas

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Esfuerzo a la ruptura	
Deformación a la ruptura	
Módulo de elasticidad	(E)
Esfuerzo cortante máximo	
Módulo Cortante	
PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad de área	257-271
PROPIEDADES TÉRMICAS	
Temperatura de fusión	149.7 °C
Cristalinidad	88%

Imagen 4 a. Caracterización HB24T

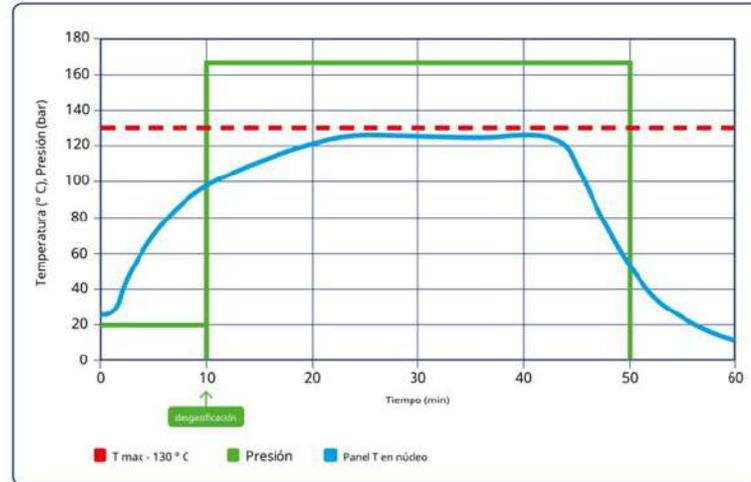
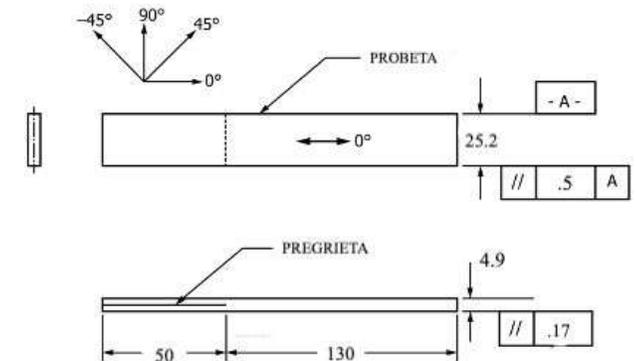


Imagen 5 Ciclo de moldeo por compresión Dyneema BHT [4]



NOTA:
TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS

Imagen 6 Especificaciones de las probetas en [mm] [5]

Alistamiento platinas de acero



1



2



3



4

MODO I
Cuasi-estático



1"x 1/8"

MODO I y II
Dinámico



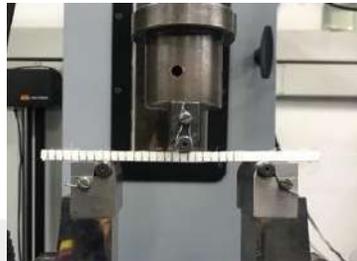
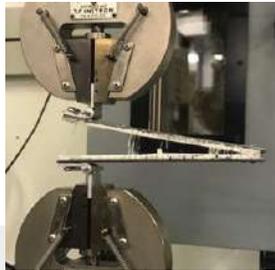
1"x 3/16"

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimentación

Pruebas Cuasi-estáticas

INSTRON 3367



Celda de carga:
500N
Velocidad:
1 mm/min

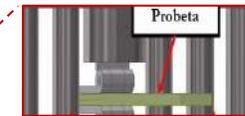
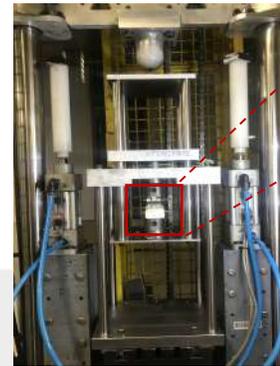
a.

b.

Imagen 7 Montaje condiciones cuasi-estáticas a. modo I b. modo II

Pruebas Dinámicas

Máquina de impactos de baja energía por caída de masa vertical (DWIT)



Altura: 26mm
Tiempo
antirrebote:
90 ms

a.

b.

Imagen 8 Montaje condiciones dinámicas a. modo I b. modo II

DISCOVERY/FLOWER



50°C de
temperatura
80% de
humedad

UV ATLAS

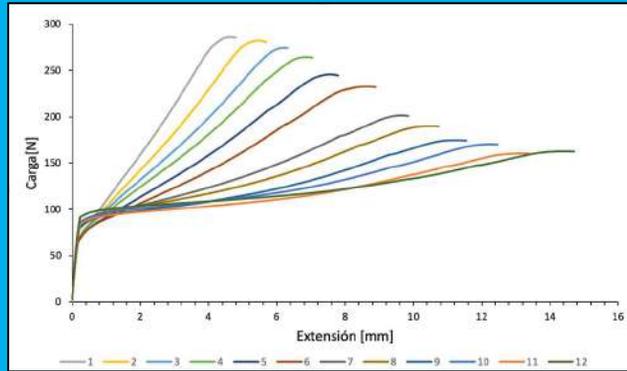


ASTM G154 – 12a [41]
Lámparas UVA-340
8 h UV a 60°C
4 h Condensación a 50°C

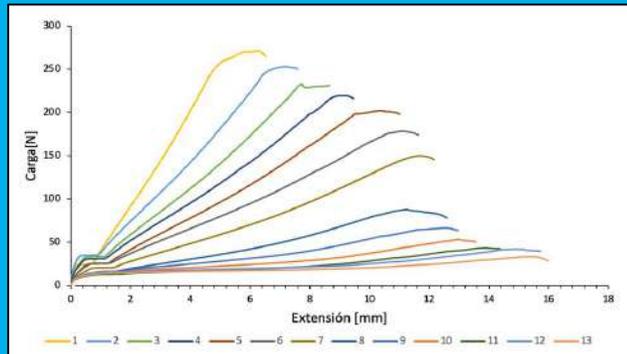
RESULTADOS Y ANÁLISIS

Condiciones cuasi-estáticas Modo I

a.



b.



c.

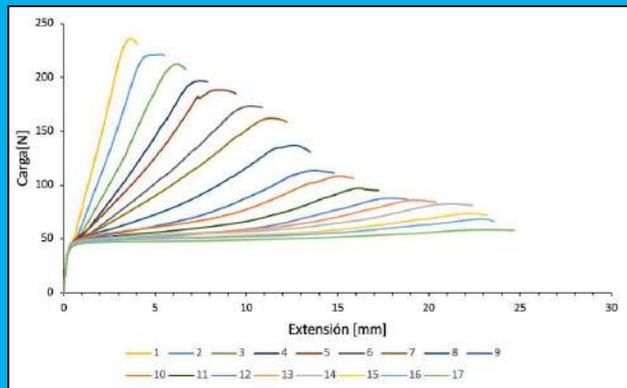
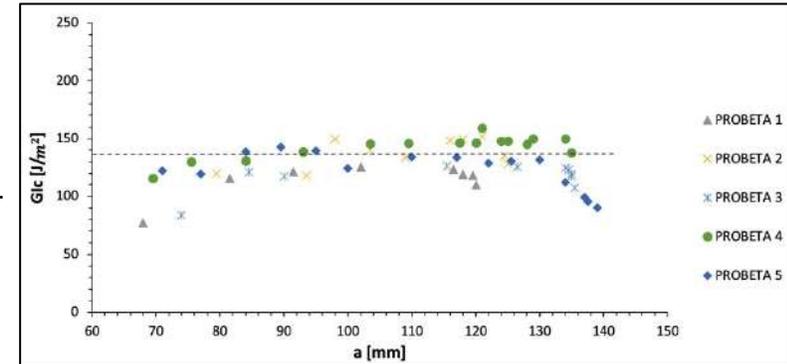
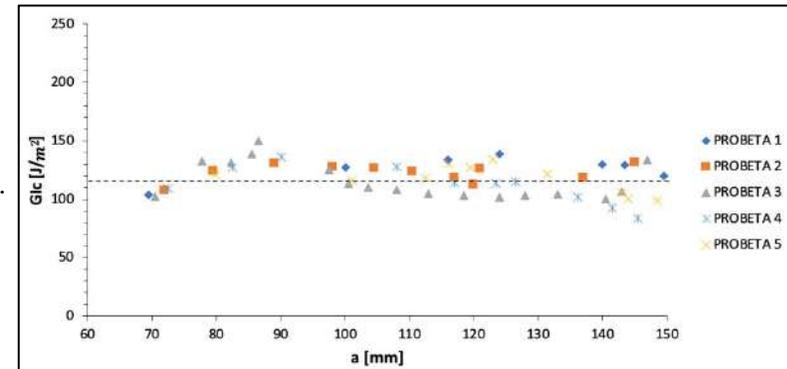


Imagen 9 Curva característica carga vs extensión a. sin envejecimiento b. 500 h c. 1000 h

a.



b.



c.

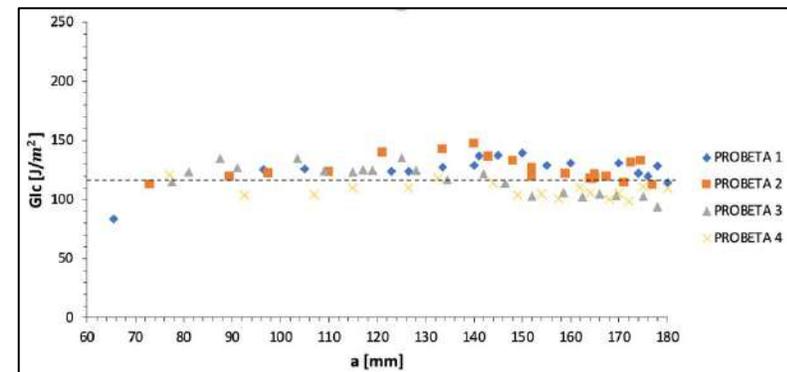


Imagen 10 Tasa de liberación de energía Modo I a. sin envejecimiento b. 500 h c. 1000 h

RESULTADOS Y ANÁLISIS

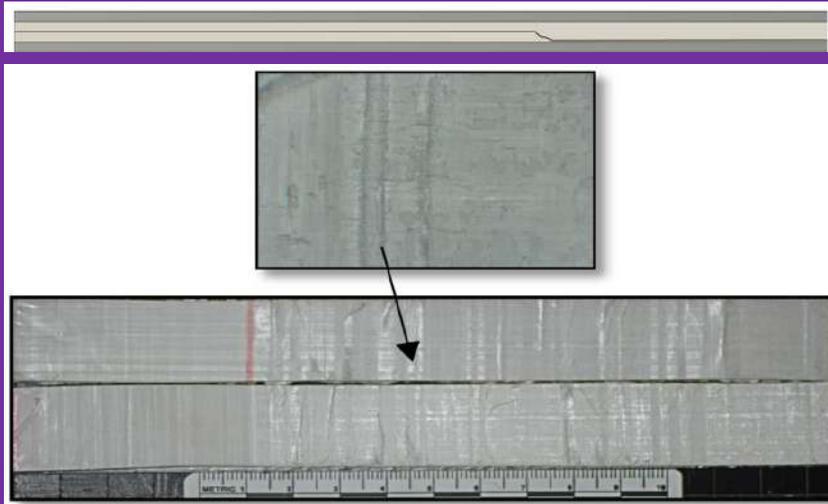


Imagen 11 Propagación de grieta a 500 h y sin envejecimiento

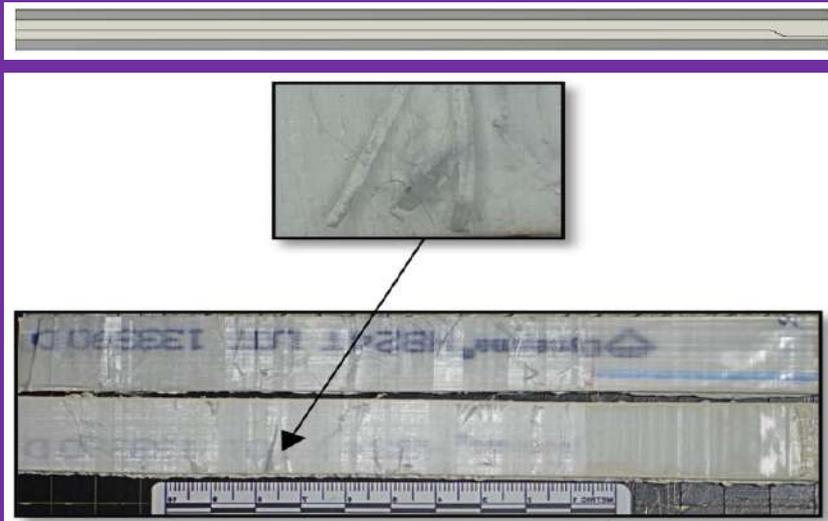


Imagen 12 Propagación de grieta a 1000 h

Modo I con envejecimiento UV

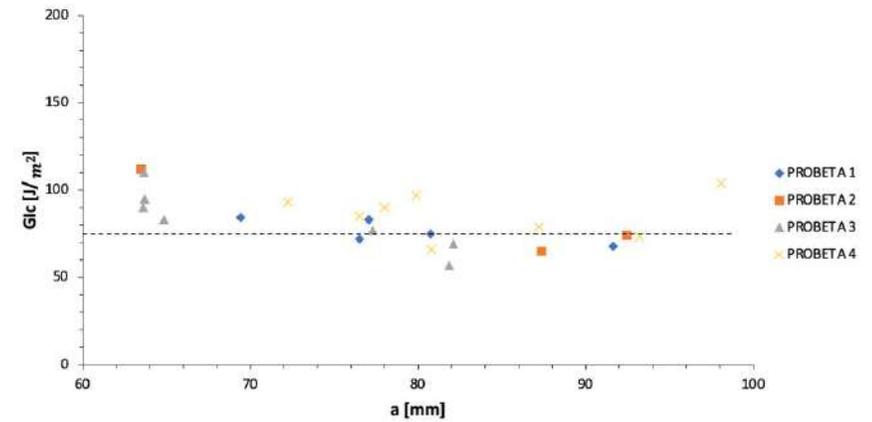


Imagen 13 Tasa de liberación de energía Modo I con envejecimiento por rayos UV

Condiciones cuasi-estáticas Modo II

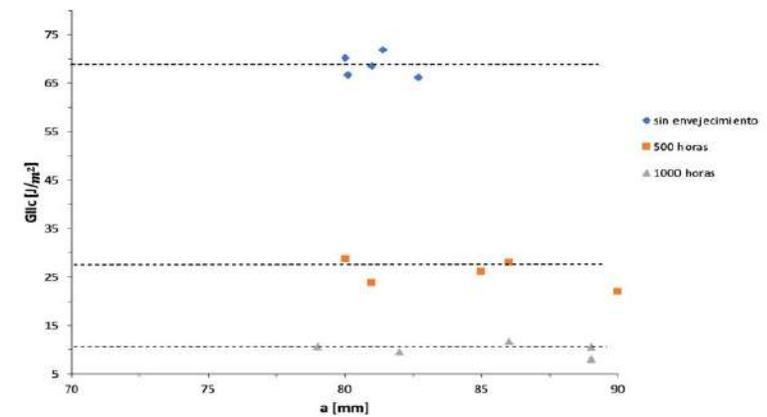
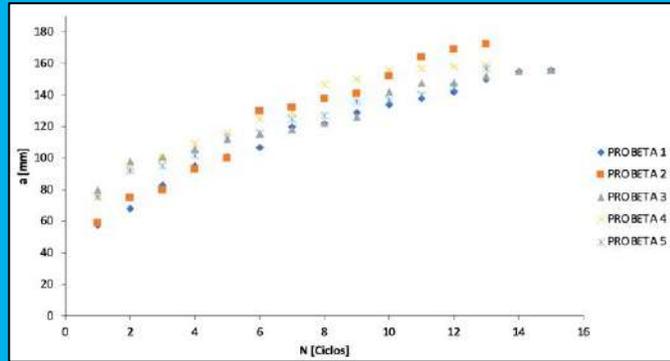


Imagen 14 Tasa de liberación de energía Modo II cuasi-estático

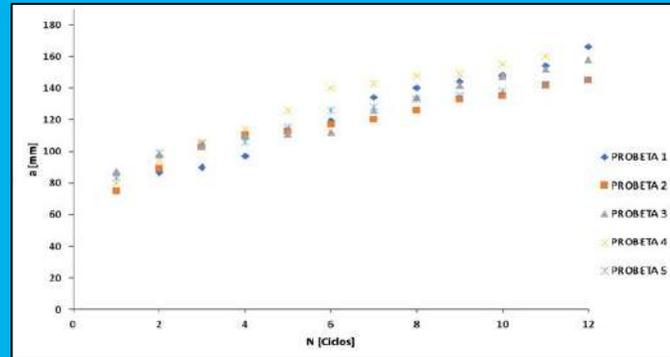
RESULTADOS Y ANÁLISIS

Condiciones dinámicas Modo I

a.



b.



c.

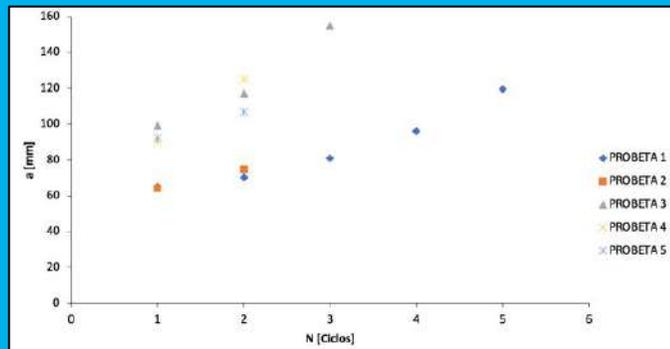
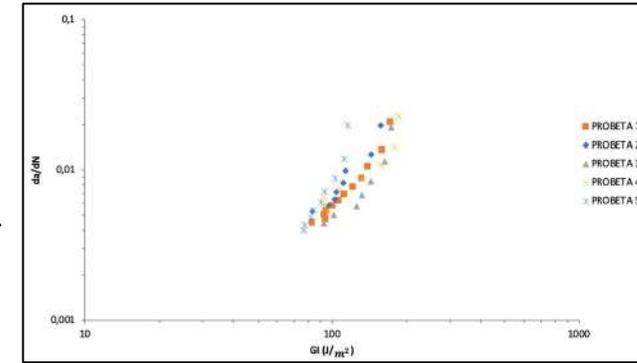
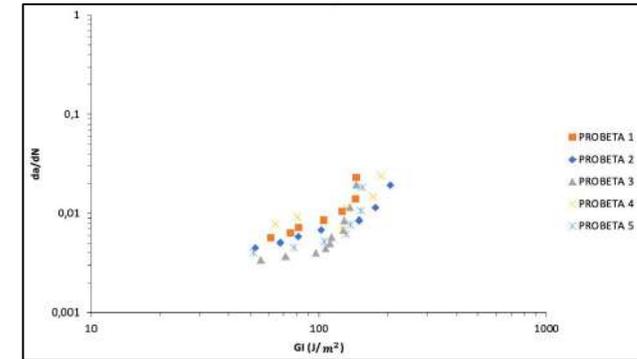


Imagen 15 Ciclos de falla vs longitud de grieta a. sin envejecimiento b. 500 h c. 1000 h

a.



b.



c.

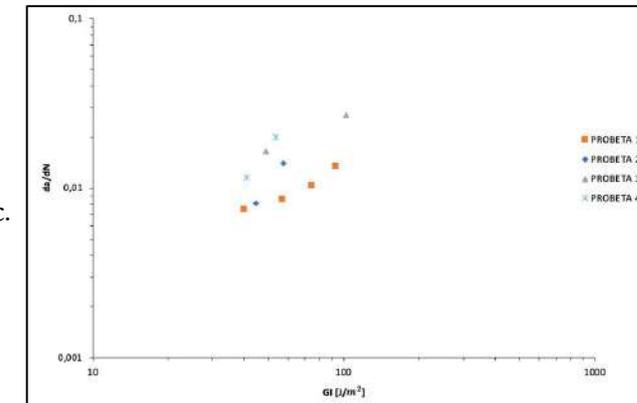
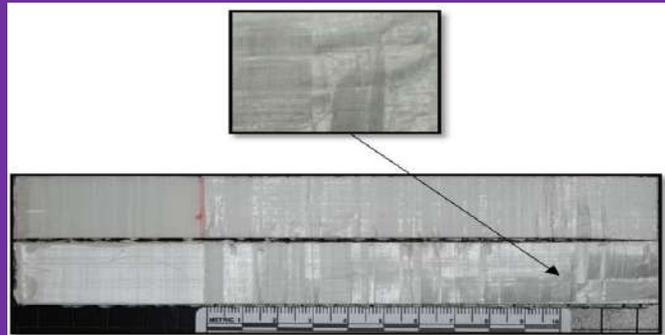
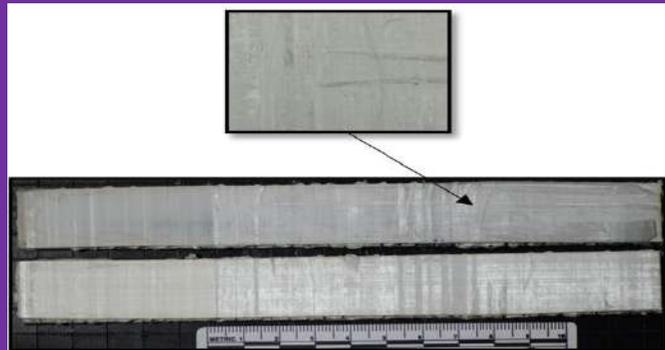


Imagen 16 Velocidad de propagación de grieta vs $G_{I_{m\acute{a}x}}$ a. sin envejecimiento b. 500 h c. 1000 h

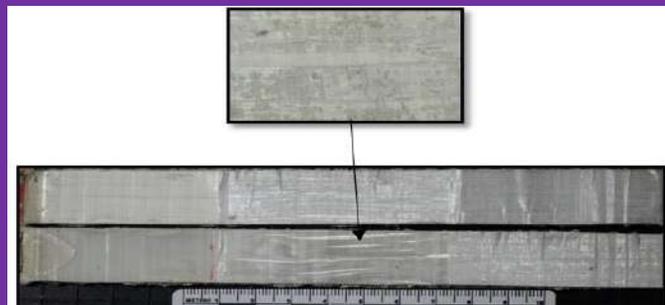
RESULTADOS Y ANÁLISIS



a.



b.



c.

Imagen 17 Propagación de grieta a. sin envejecimiento b. 500h c. 1000h

Condiciones dinámicas Modo II

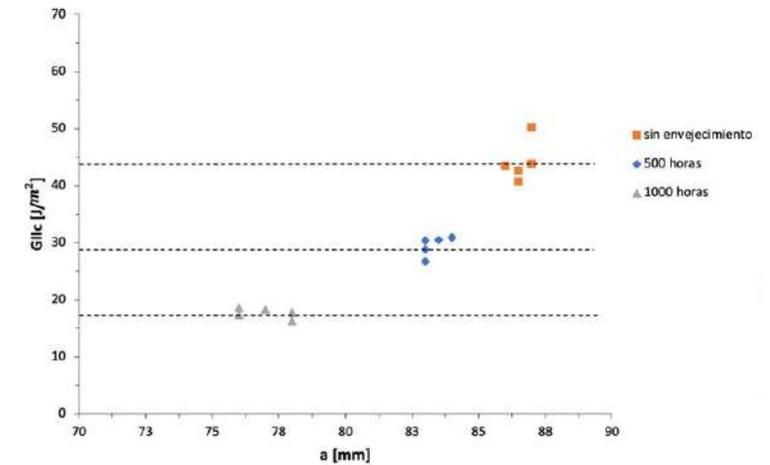


Imagen 18 Tasa de liberación de energía Modo II dinámico

Resultados DRX

	% Cristalinidad	% Pureza
Sin envejecimiento		0,98
Temperatura (50°C) Humedad (80%) 500 h		0,91
Temperatura (50°C) Humedad (80%) 1000 h		0,90
Radiación UV		0,87

Resultados cuasi-estáticos

	unidades	Sin envejecimiento	Envejecidas a 500 horas	Envejecidas a 1000 horas
		126,76 ± 9,28	116,06 ± 13,55	117,44 ± 10,04
		126,76 ± 9,28	72,06 ± 7,73	

Imagen 19 Resultados tasa de liberación de energía en condiciones cuasi-estáticas

Resultados dinámicos

	unidades	Sin envejecimiento	Envejecidas a 500 horas	Envejecidas a 1000 horas
			22,46 ± 9,82	

Imagen 20 Resultados tasa de liberación de energía en condiciones dinámicas

CONCLUSIONES

1. **No se reportan cambios significativos** en la capacidad de absorción de energía en **modo I** de falla bajo condiciones cuasi-estáticas por temperatura y humedad a 500 y 1000 horas de envejecimiento, en contraste con los datos obtenidos por radiación UV.
2. El envejecimiento por acción de rayos **UV afecta drásticamente** al material en modo I de falla, y esta respuesta es consistente tanto en condiciones dinámicas como cuasi-estáticas.
3. Los laminados de fibras de polietileno de ultra alto peso molecular con resina de poliuretano cuando están sometidos a **cargas por impacto requieren menos energía** para propagar grieta en comparación a cuando son sometidos a condiciones cuasi-estáticas.
4. La energía necesaria para propagar grieta en **modo II es menor que en modo I** tanto en condiciones dinámicas como en condiciones cuasi-estáticas, relacionado con la degradación de la matriz debido a su envejecimiento.
5. La capacidad de absorción de energía **es menor a medida que aumenta el tiempo** de envejecimiento bajo las condiciones establecidas

REFERENCIAS

- [1] T. L. Anderson, Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, United States of America: Taylor and Francis: Third edition, 2005.
- [2] Anónimo, «La Armada Colombiana incorpora dos de los ocho botes de Combate Fluvial de Bajo Calado previstos,» Infodefensa, 2021.
- [3] COTECMAR, «Manual del usuario,» Cartagena, 2020.
- [4] D. Brand, Recommended Pressure Cycle (metric), Holanda: Royal DSM NV, 2009.
- [5] A. AC09036782, «Standard test method for mode I interlaminar fracture toughness of unidirectional fiber-reinforced polymer matrix composites,» ASTM Internat., 2007.
- [6] DSMBrand, “Flammability of Dayneema,” 2007
- [7] A. International, «Standard Test Method for Determination of the Mode II Interlaminar 56 Fracture Toughness of Unidirectional Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites,» doi: 10.1520/D7905_D7905M-19E01.
- [8] A. G154-12a, Standard practice for operating fluorescent ultraviolet (UV) lamp apparatus for exposure of nonmetallic materials, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2012.
- [9] V. Vivas, Influência da degradação ambiental no comportamento mecânico e balístico de compósitos produzidos com fibra de polietileno de ultra alto peso molecular, Instituto Militar de Engenharia, 2013.
- [10] F. P. Cook, Characterization of UHMWPE Laminates for High Strain Rate Applications, Virginia Tech, 2010.
- [11] M. C. W. L. V. T. T. Y. Zhaoa, Interlaminar fracture toughness of hybrid woven carbon-Dyneema T composites, Shanghai: Donghua University, 2018.
- [12] L. a. K. M. a. R. Z. a. L. D. a. W. X. a. W. B. a. Y. L. a. Y. J. Shanmugam, Enhanced mode I fracture toughness of UHMWPE fabric/thermoplastic laminates with combined surface treatments of polydopamine and functionalized carbon nanotubes, vol. 178, Elsevier, Ed., 2019, p. 107450.
- [13] S. A. a. F. B. D. a. B. O. M. a. C. J. M. a. W. T. M. Maher, Effect of crosslinking, remelting, and aging on UHMWPE damage in a linear experimental wear model, vol. 25, W. O. Library, Ed., Journal of orthopaedic research, 2007, pp. 849-857.

A low-angle, front-facing view of a ship's bow. The ship is white with a light blue stripe along the top edge. The sky is a mix of blue and orange, indicating a sunset or sunrise. The word "GRACIAS" is written in white, bold, italicized capital letters across the center of the bow. The ship's structure, including railings and a central mast, is visible against the sky.

GRACIAS