

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias Del Mar

"Modernización del blindaje balístico en las Lanchas Amazonas para mejorar su desempeño y eficiencia"

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de: MÁSTER EN INGENIERÍA NAVAL

Presentada por:

Ing. José María Rodríguez Lamchang

Dirigido por:

Ing. Jorge Faytong Durango, Ms.c

Ing. Rubén Paredes Alvarado, PhD

GUAYAQUIL – ECUADOR Año: 2024 Yo José María Rodríguez Lamchang acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o 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 del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es 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, 29 de enero de 2025.

José María Rodríguez L. Autor

EVALUADORES

Ing. Rubén Paredes Alvarado, Ph.D Profesor de materia

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa, cuya admirable paciencia y amor me han acompañado durante todo el proceso de elaboración; a mis padres, quienes siempre han estado pendientes de mí; a mis tutores, por compartir conmigo sus valiosos conocimientos; y, sobre todo, a Dios, quien me acompaña y cuida cada día de mi vida.

INDICE GENERAL

RESUMEN	10
CAPITULO 1	11
1.1. ÁREA DE ESTUDIO	11
1.2. ANTECEDENTES	11
1.3. JUSTIFICACIÓN	14
1.4. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	16
1.5. TRABAJO PROPUESTO	16
CAPITULO 2	18
2. METODOLOGÍA	18
2.1. ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE BLINDAJE	18
2.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE MÉTODOS SEMI- EMPÍRICOS	20
2.2.1. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE EL MODELO DE SAVITSKY	20
2.2.2. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO CON MAXSURF MOTION	22
2.2.3. ESTABILIDAD DINÁMICA DE EMBARCACIONES RÁPIDAS	23
I. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE PORPOISING	23
II. ESTIMACIÓN DEL ASIENTO DINÁMICO	24
2.3. VIABILIDAD ECONÓMICA DEL NUEVO SISTEMA DE BLINDAJE	25
I. ANÁLISIS DE COSTOS	26
II. EFECTO DEL NUEVO BLINDAJE EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	26
CAPITULO 3	29
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	29
3.1. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE BLINDAJE	29
3.1.1. REVISIÓN DEL BLINDAJE ACTUAL:	29
I. ESTRUCTURA DEL BLINDAJE	29
II. PRUEBA BALÍSTICA	30
III. RESULTADOS DE LA PRUEBA:	30
3.1.2. PROPIEDADES Y APLICACIONES DE MATERIALES BALÍSTICOS AVANZADOS	5_31
I. ACERO BALÍSTICO	32
II. FIBRA ARAMIDA	36

III.	CERÁMICA BALÍSTICA	41
IV.	POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR (UHMWPE)	46
3.1.3	8. COMPARACIÓN DE MATERIALES BALÍSTICOS	50
I.	TABLA COMPARATIVA DE LOS MATERIALES	51
II.	DISCUSIÓN CRÍTICA	52
3.1.4	. MATERIAL RECOMENDADO O SELECCIONADO	54
I.	JUSTIFICACIÓN DEL MATERIAL RECOMENDADO	54
II.	COMPARACIÓN CON EL BLINDAJE ACTUAL	56
3.2.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD E HIDRODINÁMICO DE LA LANCHA AMAZONAS	57
3.2.1	. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE	58
3.2.2	2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DINÁMICA	62
I.	RESULTADOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD DINÁMICA RAOS	62
II.	COMPORTAMIENTO DINÁMICO A 28 NUDOS CON EL BLINDAJE ANTIGUO	63
III.	COMPORTAMIENTO DINÁMICO A 28 NUDOS CON EL BLINDAJE NUEVO	64
IV. ANT	RESULTADOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD DINÁMICA (MSI) PARA EL BLINI IGUO Y NUEVO	DAJE 66
V. BLIN	RESULTADOS OBTENIDOS DE ESTABILIDAD DINÁMICA (CG SPECTRA) PARA E IDAJE ANTIGUO Y NUEVO	L 67
VI.	ANÁLISIS DE LA POSIBILIDAD DE "PORPOISING" EN LA LANCHA AMAZONAS	S69
3.3.	VIABILIDAD ECONÓMICA	74
3.3.1	. SISTEMA DE BLINDAJE ANTIGUO (FIBRA + RESINA + CERÁMICA BALÍSTIC	A)_74
3.3.2	2. SISTEMA DE BLINDAJE NUEVO (UHMWPE):	76
3.3.3	. COMPARACIÓN DE COSTOS	78
3.3.4	AHORROS POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	78
I.	CURVA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE VERSUS RPM DE MOTOR DE 200 HP_	79
II. BLIN	AHORRO ESTIMADO ANUAL DE COMBUSTIBLE COMPARANDO CON LOS DOS IDAJES EL ANTIGUO Y NUEVO	80
3.3.5	5. ANÁLISIS ECONÓMICA COMPARATIVA DEL BLINDAJE ANTIGUO Y EL NUE	VO 82
3.3.6 ANT	6. COMPARACIÓN DEL VALOR NETO ACTUAL (VNA) ENTRE EL BLINDAJE IGUO Y NUEVO EN EL PERÍODO DE 10 AÑOS	84
3.3.7 Y NU	7. ANÁLISIS DE PAGOS UNIFORMES PARA LOS COSTOS DEL BLINDAJE ANT JEVO 85	IGUO
3.3.8 NUE	8. CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) PARA EL BLINDAJE VO 87	
3.3.9	. RESULTADOS DE PRUEBAS BALÍSTICAS A PLACA DE UHMWPE	88
САР	ITULO 4	91

4.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
4.1.1.	CONCLUSIONES	91
4.1.2.	RECOMENDACIONES	93
BIBLIC	OGRAFIA	95
ANEX	97	

INDICE DE FIGURAS

Figura	1. Líneas de Formas de lancha Amazonas	_12
Figura	2. Mapa de ubicación de bases de Infantería	_13
Figura	3. Posición del sistema balístico (parte sombreada)	_14
Figura	 Representación del diseño hidrodinámico de un casco en planeo. 	_20
Figura	5. Placa Balística antigua, cara posterior	_30
Figura	6. Placa Balística antigua, cara anterior	_30
Figura	7. Placa Balística antigua, lado en donde se encuentra la cerámica balística	_31
Figura	8. Acero balístico	_32
Figura	9. Tela de aramida - kevlar	_36
Figura	10. Curva Esfuerzo versus deformación por flexión de fibras balísticas de aramida Kevla	ar
		_37
Figura	11. Curva Esfuerzo versus deformación por flexión de fibras balísticas avanzadas y	
materia	les textiles comparativos	_38
Figura	12. Paneles de cerámica balística utilizados en protecciones balísticas avanzadas.	_42
Figura	13. Rollo de tela UHMWPE	_47
Figura	14. Curva Esfuerzo-deformación de hilo de UHMWPE	_48
Figura	15. Tenacidad-elongación de hilo de UHMWPE	_48
Figura	16. Gráfica comparativa resistencia-velocidad considerando el blindaje nuevo y el blinda	аje
antiguo		_59
Figura	17. Gráfica comparativa potencia versus velocidad considerando blindaje nuevo y blinda	аје
antiguo		_62
Figura	18. Gráfica Rao-altura de ola a 28 nudos, blindaje antiguo	_63
Figura	19. Gráfica Rao-altura de ola a 28 nudos, blindaje nuevo (UHMWPE)	_64
Figura	20. Gráfica comparativa MSI de ola a 28 nudos, blindaje antiguo-nuevo	_66
Figura	21. Gráfica comparativa Amplitude CG Spectra de ola a 28 nudos, blindaje antiguo-nuev	10
		_68
Figura	22. Comparación del asiento dinamico entre el blindaje antiguo y nuevo	_70
Figura	23. Limites de estabilidad dinámica y régimen de planeo estable para embarcaciones	
planead	loras	_72
Figura	24 . Gráfica de Límite de Porpoising tanto para el blindaje antiguo con el nuevo con β = 2	28
		_73
⊢igura	25. Curva de consumo de combustible (L/h) en funcion de las RPM para motores fuera (cursta de 70 UD y 200 UD de 27	de
borda Y	amana de 70 HP y 200 HP de 21.	_80
⊢igura	26 . Probetas de UHMWPE, fusil de asalto con municion 5,56 mm	_88
Figura	21. Probeta con 5 tiros en la parte frontal y deformación en la parte posterior – probeta	
30X30 (cm con espesor ae su mm	_89

Figura 28. Probeta con 5 tiros en la parte frontal y deformación en la parte posterior – probeta 30x25 cm con espesor de 28 mm______89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de diferentes grados de acero balístico	_33
Tabla 2. Propiedades mecánicas de diferentes fibras balístico	39
Tabla 3. Propiedades mecánicas de materiales cerámicos balístico	_43
Tabla 4. Comparación de materiales balísticos: Acero, fibra aramida, cerámica balística y	
	_51
Tabla 5. Parámetros principales de la embarcación con el sistema de blindaje antiguo.	_ 71
Tabla 6. Parámetros principales de la embarcación con el sistema de blindaje nuevo.	_71
Tabla 7. Tabla de materiales utilizados para la construcción del sistema de blindaje antiguo	_ 74
Tabla 8. Tabla costos de mano de obra para la construcción de placa balística antigua	_ 75
Tabla 9. Tabla costos de mano de obra para la instalación del sistema de blindaje antiguo	_ 75
Tabla 10. Tabla costos totales sistema de blindaje antiguo	_ 76
Tabla 11. Tabla de materiales utilizados para la construcción del sistema de blindaje nuevo	_76
Tabla 12. Tabla costos de mano de obra para la construcción de placa balística nuevo	_77
Tabla 13. Tabla costos de mano de obra para la instalación del sistema de blindaje nuevo	_77
Tabla 14. Tabla costos totales sistema de blindaje antiguo	_ 78
Tabla 15. Resumen de comparación de costos de elaboración e instalación de sistema balístico),
blindaje antiguo – blindaje nuevo	_ 78
Tabla 16. Costo anual de combustible para blindaje nuevo y blindaje antiguo	_81
Tabla 17. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo y blindaje nue	evo
a lo largo de 10 años	_83
Tabla 18. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo y blindaje nue	əvo
a lo largo de 10 años	_84
Tabla 19. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo y blindaje nue	vo
a lo largo de 10 año	_85
Tabla 20. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo y blindaje nue	эvo
a lo largo de 10 año	_86
Tabla 21. Tasa Interna de Retorno (TIR) del blindaje nuevo	_87

Resumen

Este estudio evalúa la viabilidad técnica y económica de reemplazar el blindaje balístico de las lanchas "Amazonas" del Comando de Infantería de Marina del Ecuador. El blindaje actual, compuesto por laminados de fibra de vidrio, resina y cerámica balística, es pesado y limita la eficiencia operativa. Luego de evaluar varias alternativas, se propone el uso polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) como alternativa de material para el nuevo blindaje de protección balístico, destacando sus ventajas en reducción de peso, mejora en el rendimiento hidrodinámico de la embarcación y mayor durabilidad.

Esta investigación incluye simulaciones del comportamiento dinámico de la embarcación considerando el blindaje el antiguo y el nuevo, utilizando el modelo de Savitsky (1964) para analizar la resistencia al avance y el riesgo de inestabilidad dinámica (porpoising) de embarcaciones planeadoras. Además, se realizó un análisis económico comparativo que consideró costos de materiales, instalación y ahorro en consumo de combustible.

Los resultados muestran que el blindaje de UHMWPE se reduce en un 46%, con respecto al blindaje antiguo, mejora su estabilidad dinámica, incrementa la velocidad máxima de 31 nudos aproximados a 34 nudos aproximados y disminuye el consumo de combustible en un 10.25%, lo que representa un ahorro anual estimado de **\$4,620 USD**. Aunque el costo inicial del UHMWPE es mayor que el del sistema actual, los beneficios a largo plazo justifican su implementación. En conclusión, el uso de UHMWPE como material para protección balística es una solución viable para modernizar el blindaje de las lanchas "Amazonas", mejorando la eficiencia operativa, reduciendo costos y optimizando su rendimiento hidrodinámico

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Área de estudio

Este proyecto se centra en la problemática generada por el uso de blindaje afectando la velocidad de navegación y maniobrabilidad de las lanchas militares Amazonas, una dificultad que impacta de manera significativa en sus operaciones, especialmente durante las misiones de patrullaje. La necesidad crítica de mejoras en estos aspectos operativos es evidente, ya que el considerable peso de las embarcaciones, agravado por la carga adicional de los soldados a bordo, afecta negativamente a la eficiencia y capacidad operativa.

En este contexto, se analizará cómo mejorar estas condiciones y se evaluarán los costos asociados a la implementación de las soluciones propuestas, abordando así la complejidad de optimizar el rendimiento de las lanchas en condiciones operativas críticas.

1.2. Antecedentes

Las lanchas "Amazonas" han desempeñado un papel esencial en las operaciones marítimas y de defensa de Ecuador durante las últimas tres décadas. Su capacidad para patrullar las fronteras marítimas y responder a situaciones de emergencia las convierte en activos cruciales para garantizar la seguridad del país.

Estas embarcaciones están construidas con aluminio naval, lo que las hace excepcionalmente ligeras, con un desplazamiento de apenas tres toneladas. La embarcación tiene una eslora de 8,10 metros, manga de 2,40 metros, puntal de 1,30 metros con un calado de 0,40 metros en condición ligera. En

condiciones operativas, alcanza una velocidad de aproximadamente 32 nudos gracias a la potencia combinada de dos motores fuera de borda de 200 hp cada uno.

Las formas del casco son semiplanas, es decir tiene un ángulo de astilla muerta bajo, lo que permite que estas embarcaciones puedan navegar tanto en el mar como en ríos con calado relativamente bajo, ver Figura 1. Las operaciones que se realizan con estas embarcaciones son diversas, principalmente las de patrullaje fronterizo.



Figura 1. Líneas de Formas de lancha Amazonas Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se muestra la ubicación de las tres bases militares que utilizan estas lanchas, dentro del territorio nacional. La base de "San Lorenzo" se encuentra ubicada en la ciudad del mismo nombre en la provincia de Esmeraldas al norte del país, limitando con Colombia. Al sur se encuentra la base de "Jambelí" en Puerto Bolívar, provincia de El Oro, limitando con Perú. Por último, la base "San Eduardo" se localiza en la ciudad de Guayaquil, en la provincia del Guayas.



Figura 2. Mapa de ubicación de bases de Infantería

Las lanchas Amazonas actualmente tienen instalado un sistema de protección balístico, clasificado como nivel 4 según las normas National Institute of Justice (2008), garantizando la defensa efectiva contra las municiones de calibre 7,62x39, usada en el fusíl AK 47. Este sistema se compone principalmente de paneles fabricados con una combinación de fibra de vidrio y cerámica balística, el peso aproximado por metro cuadrado es de 53 kilogramos.

La disposición del sistema de protección balística se extiende a lo largo de las bandas de la embarcación, proporcionando protección desde la estiba hasta el filo de la cubierta, con una longitud de aproximadamente 6 metros y altura de un metro. Su límite en la popa se encuentra con la bandeja, mientras que en la proa se limita con el peak, como se muestra en la **Figura 3.** Como resultado tenemos un blindaje con un peso total aproximado de 572 kilogramos, lo que representa un aumento del 17% del desplazamiento de la embarcación y lo que provoca una disminución en la velocidad y un deterioro de la maniobrabilidad de la embarcación, limitando así la efectividad de las operaciones que se llevan a cabo.



Figura 3. Posición del sistema balístico (parte sombreada) Fuente: elaboración propia

En ciertas ocasiones, durante el mantenimiento de las lanchas Amazonas, se opta por la remoción del sistema de protección balística con el fin de mejorar las condiciones operativas. Esta decisión implica, sin embargo, la reducción total de la protección en situaciones de peligro extremo.

1.3. Justificación

El proyecto de mejora en la eficiencia y capacidad operativa de las lanchas militares Amazonas surge como respuesta a la problemática crítica identificada en las operaciones de patrullaje fronterizo y la situación actual del país respecto al crimen organizado. Estas embarcaciones desempeñan un papel esencial en la seguridad marítima y defensa del país, patrullando las fronteras marítimas y respondiendo a situaciones de emergencia.

La dificultad principal radica en el sistema de protección balístico actual, el cual, aunque es esencial para garantizar la seguridad de la tripulación en situaciones de peligro extremo, presenta inconvenientes significativos. El peso excesivo de este sistema impacta negativamente en la velocidad y maniobrabilidad de las lanchas, comprometiendo su eficiencia operativa.

La justificación de este proyecto se fundamenta en la necesidad imperante de encontrar soluciones que permitan mantener un nivel adecuado de protección balística sin comprometer la capacidad de respuesta y desempeño operativo de las lanchas. La optimización de estos aspectos no solo garantizará la seguridad del personal a bordo en momentos críticos, sino que también mejorará la eficacia general de las operaciones de patrullaje, permitiendo una mayor flexibilidad y rapidez en la respuesta a eventos adversos.

Además, la mejora propuesta se alinea con la tendencia global hacia tecnologías más ligeras y eficientes, buscando mantener altos estándares de seguridad sin sacrificar la movilidad y maniobrabilidad de las embarcaciones. Este proyecto contribuirá a la modernización de las lanchas Amazonas, asegurando que sigan desempeñando un papel crucial en las operaciones marítimas y de defensa del país de manera óptima y eficiente.

1.4. Objetivo General y Específicos

Objetivo General

Evaluar la viabilidad de reemplazo del blindaje balístico original en las lanchas Amazonas por un material más ligero y moderno sin afectar el nivel de protección actual, para el mejoramiento de su velocidad de operación.

Objetivos específicos

- Revisar el blindaje balístico actual utilizado en las lanchas Amazonas y los efectos que este ha incurrido en su velocidad, maniobrabilidad y eficiencia operativa.
- Recopilar información sobre avances tecnológicos en materiales balísticos más ligeros y modernos que puedan reemplazar el blindaje actual, manteniendo o mejorando el nivel de protección.
- Evaluar el impacto del reemplazo del blindaje en la velocidad, maniobrabilidad y eficiencia operativa de las lanchas Amazonas mediante simulaciones y análisis comparativos.
- Calcular los costos asociados con el reemplazo del blindaje, incluyendo los costos de materiales y de la mano de obra de la instalación.

1.5. Trabajo Propuesto

La protección balística de las embarcaciones de patrullaje es un aspecto crucial para la seguridad y eficiencia operativa del Comando de Infantería de Marina del Ecuador. La investigación actual se centra en la viabilidad de reemplazar el blindaje balístico de las lanchas 'Amazonas' con un material más ligero y moderno, como la tela aramida o el material de polietileno de ultra alto peso molecular (UHWP). Este estudio busca no solo modernizar la protección, sino también mejorar el rendimiento de estas embarcaciones.

Con base en los antecedentes y la problemática identificada, se evidencia la necesidad de desarrollar una metodología estructurada para evaluar la viabilidad de modernizar el sistema de blindaje balístico de las lanchas 'Amazonas'. En el siguiente capítulo, se detallará el enfoque metodológico que guiará esta evaluación, abarcando desde la selección de materiales hasta el análisis hidrodinámico y económico.

CAPITULO 2

2. Metodología

Para alcanzar el objetivo principal de esta investigación, se ha seleccionado una metodología que responde a las necesidades identificadas en el análisis de antecedentes y justificación. Este enfoque metodológico permitirá evaluar las alternativas de blindaje balístico, considerando aspectos técnicos, operativos y económicos

2.1. Alternativas de Sistemas de blindaje

Para evaluar y comparar diferentes sistemas de blindaje en las lanchas 'Amazonas' del Comando de Infantería de Marina del Ecuador, se siguieron los siguientes pasos:

I. Revisión del blindaje actual:

- Recopilar información sobre el proceso de fabricación y materiales empleados en las placas antiguas para entender mejor su composición y características estructurales.
- Realizar pruebas balísticas en un entorno controlado a las placas antiguas del sistema de blindaje y a placa con el material seleccionado..
- Registrar y analizar los resultados de las pruebas, evaluando la capacidad de las placas para resistir impactos de municiones de calibre 5.56, 7.62 o similares, comparando los resultados con los estándares establecidos.

II. Revisión de Literatura y Selección de Materiales:

- Realizar una revisión de la literatura existente sobre los principales materiales para la fabricación de blindaje balístico utilizados en la actualidad, como:
- a) Acero balístico.
- b) Fibra aramida.
- c) Compuestos cerámicos.
- d) Fibra de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE).
- Identificar las propiedades clave de cada material, como densidad, resistencia al impacto, capacidad de absorción de energía y costos asociados.

III. Análisis Comparativo de Materiales:

Basado en los datos obtenidos en la revisión teórica y las pruebas experimentales, realizar un análisis comparativo considerando los siguientes criterios:

- a) Peso y espesor requerido para protección.
- b) Resistencia al impacto.
- c) Costo y disponibilidad en el mercado.
- d) Facilidad de integración con el diseño de las lanchas 'Amazonas'.
- e) Seleccionar el material o combinación de materiales que ofrezca la mejor relación entre protección balística, peso y costo.

2.2. Evaluación de la resistencia al avance mediante métodos semiempíricos

En esta sección se describen los procedimientos y herramientas utilizadas para evaluar el desempeño hidrodinámico y la estabilidad dinámica de las lanchas 'Amazonas' bajo diferentes configuraciones de blindaje.

Este método considera factores como la geometría del casco, el ángulo de asiento dinámico (trim) y las condicones de carga, permitiendo estimaciones útiles a nivel de ingeniería de la resistencia total al avance.

2.2.1. Evaluación de la resistencia al avance mediante el modelo de Savitsky

El método semi-empírico de Savitsky (1964) es ampliamente utilizado para analizar el rendimiento hidrodinámico de embarcaciones planeadoras, como las lanchas 'Amazonas', al calcular la resistencia total al avance considerando la geometría del casco, el ángulo de trimado y la distribución del peso. En este proyecto, su implementación a través del software Maxsurf permite simular de manera eficiente el impacto de diferentes sistemas de blindaje en el desempeño de la embarcación.



 Figura 4. Representación del diseño hidrodinámico de un casco en planeo.
 Fuente: Savitsky, D. (1964). Hydrodynamic Design of Planing Hulls. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME).

La Figura 4, muestra el enfoque utilizado por Savitsky (1964) para calcular el rendimiento hidrodinámico de cascos prismáticos en régimen de planeo. Este método considera parámetros clave como la longitud del casco (L), la posición del centro de gravedad longitudinal (LCG), el ángulo de trimado dinámico (τ), y las fuerzas de sustentación y resistencia. Además, utiliza el coeficiente de sustentación (C_L) y el coeficiente de resistencia (C_R) para evaluar el equilibrio dinámico del casco en función de la distribución de peso y la velocidad de la embarcación.

El modelo permite predecir el comportamiento del casco bajo diferentes condiciones operativas, optimizando su diseño para mejorar la eficiencia energética y garantizar la estabilidad dinámica. Este enfoque es ampliamente utilizado para embarcaciones planeadoras gracias a su versatilidad y precisión.

I. Configuración de Parámetros:

Para realizar las simulaciones se definieron los siguientes parámetros:

- a) Geometría del casco y distribución del peso, modelados previamente en Rhino y configurados en Maxsurf (Bentley Systems, 2025).
- b) Condiciones de carga para dos escenarios:
 - Blindaje antiguo (fibra + cerámica).
 - Blindaje nuevo (UHMWPE).
- c) Velocidades de operación en el rango de 10 a 40 nudos.

II. Resultados obtenidos y análisis

A partir de las simulaciones realizadas en Maxsurf Resistance, se generaron curvas de resistencia al avance en función de la velocidad y gráficos de potencia requerida para diferentes condiciones operativas. Los cálculos comparativos entre el blindaje antiguo y el nuevo arrojaron los siguientes resultados clave:

- Resistencia al avance: El sistema de blindaje de UHMWPE mostró una reducción significativa en la resistencia al avance a todas las velocidades evaluadas, evidenciando mejoras en la eficiencia hidrodinámica.
- Potencia requerida: Las lanchas con el blindaje nuevo necesitaron menos potencia para alcanzar las mismas velocidades, lo que sugiere un menor consumo de combustible durante la operación.
- Optimización operativa: La disminución en la resistencia al avance contribuyó a mejorar la velocidad máxima alcanzable dentro de las capacidades de la embarcación.

Estos resultados permiten concluir que el nuevo sistema de blindaje no solo mejora el rendimiento, sino que también reduce los costos operativos asociados al consumo energético.

2.2.2. Simulación del comportamiento dinámico con Maxsurf Motion

El software Maxsurf Motion (Bentley Systems, 2025) fue utilizado para analizar la estabilidad dinámica y el confort a bordo de las lanchas. Estas simulaciones incluyeron:

- a) Respuesta de Amplitudes Operativas (RAOs).
- b) Índice de Mareo (MSI), basado en los criterios de confort definidos por los estándares internacionales.
- c) Espectros de Amplitud en el Centro de Gravedad (CG Amplitude Spectra).

Estas simulaciones se realizaron bajo diferentes alturas de ola y velocidades operativas, permitiendo evaluar cómo el cambio en el sistema de blindaje afecta el comportamiento dinámico de las lanchas.

2.2.3. Estabilidad dinámica de embarcaciones rápidas

La estabilidad dinámica de las embarcaciones rápidas es un factor determinante para su seguridad y rendimiento. Según Troesch y Falzarano (1993), los movimientos de cabeceo (*pitch*) y levantameinto (*heave*) son los principales responsables de las inestabilidades en embarcaciones planeadoras a alta velocidad. Uno de los fenómenos más críticos es el *porpoising*, que afecta directamente la maniobrabilidad y la seguridad operativa.

I. Evaluación del riesgo de Porpoising

El porpoising es un fenómeno de inestabilidad dinámica que ocurre en embarcaciones planeadoras cuando la relación entre el ángulo de asiento dinámico o trimado y el coeficiente de sustentación (CL) excede ciertos límites. Estudios como los de lkeda y Katayama (2000) han demostrado que este fenómeno es particularmente común en embarcaciones planeadoras con distribuciones de peso desfavorables o con geometrías de casco no óptimas.

Entre los factores que contribuyen al *porpoising* se encuentran:

- a) La velocidad de operación: velocidades altas amplifican la tendencia a oscilaciones.
- b) La geometría del casco: un ángulo de trimado inadecuado o una astilla muerta pronunciada pueden inducir inestabilidad.
- c) La distribución de peso: cargas mal distribuidas, como sistemas de blindaje pesados, pueden agravar el problema (Faltinsen, 2005).

Los resultados mostraron que ambas configuraciones operaban dentro del rango de planeo estable, con una ventaja significativa del nuevo blindaje al reducir el peso total y mejorar la estabilidad.

II. Estimación del asiento dinámico

La estimación del asiento dinámico para las lanchas "Amazonas" se llevó a cabo utilizando el software Maxsurf Resistance, el cual implementa el modelo semi-empírico de Savitsky (1964) en régimen de planeo. Este modelo es ampliamente utilizado para analizar el comportamiento hidrodinámico de embarcaciones planeadoras, ya que permite determinar parámetros como el ángulo de trimado, la resistencia al avance y el asiento dinámico en función de la velocidad y otras características de la embarcación.

El procedimiento realizado incluyo los siguientes pasos:

1. Definición del modelo geométrico y paramétrico:

- Se ingresaron los parámetros principales de la embarcación, como la eslora de flotación (L), manga de flotación (B), calado (T), peso total (W), centro de gravedad longitudinal (LCG) y velocidad operativa (V).
- Estos datos iniciales se derivaron de las especificaciones técnicas de las lanchas "Amazonas" con los sistemas de blindaje antiguo y nuevo.

2. Cálculo del Asiento Dinámico:

- Maxsurf Resistance permitió simular el régimen de planeo bajo diferentes condiciones de velocidad.
- El software generó curvas que muestran cómo el ángulo de asiento dinámico varía a medida que aumenta la velocidad de la embarcación.

3. Comparación de configuraciones:

- Las simulaciones se realizaron para ambas configuraciones de blindaje: el sistema antiguo y el nuevo.
- Las gráficas resultantes permitieron comparar el comportamiento de la embarcación en términos de asiento dinámico, identificando mejoras en la estabilidad y eficiencia con el nuevo sistema de blindaje.

4. Integración de resultados

Los resultados obtenidos de las simulaciones en Maxsurf Resistance, Maxsurf Motion y el análisis teórico de Savitsky se combinaron para presentar un panorama completo del impacto del cambio de blindaje. Este enfoque integral permitió identificar mejoras sustanciales en la eficiencia hidrodinámica, el confort a bordo y la seguridad dinámica de las lanchas 'Amazonas'.

2.3. Viabilidad económica del nuevo sistema de blindaje

La implementación de un nuevo sistema de blindaje no solo implica analizar su viabilidad técnica, sino también evaluar su impacto económico. En este sentido, se considerarán los costos asociados con los materiales, la fabricación, la instalación y el mantenimiento, así como los beneficios económicos a largo plazo, como la reducción del consumo de combustible debido al menor peso del blindaje.

El análisis de costos se basó en un enfoque estándar de estimación económica, que considera los costos directos (materiales y mano de obra) y los indirectos asociados al proceso de instalación y mantenimiento. Este método sigue las directrices propuestas por Blank y Tarquin (2012), quienes

destacan la importancia de incluir todos los componentes de costo para una evaluación completa en proyectos técnicos.

I. Análisis de Costos

Para el cálculo de costos, se utilizó la metodología descrita por Sullivan et al. (2014), que recomienda dividir los costos en categorías específicas para un análisis detallado. En este proyecto, se consideraron los costos de materiales, mano de obra y gastos indirectos. Los valores de mercado actuales de los materiales, como el UHMWPE, fueron obtenidos a partir de datos proporcionados por proveedores locales.

- a) Costo de materiales: Se analizará el precio unitario de los materiales seleccionados en el mercado nacional e internacional de ser necesario.
- b) Fabricación e instalación: Incluye los costos de mano de obra, herramientas especializadas y tiempos necesarios para la instalación del nuevo blindaje.
- c) Mantenimiento a largo plazo: Se estimará el costo de mantenimiento considerando un período de 10 años en función de la durabilidad y resistencia del material propuesto, comparándolo con el sistema actual.

II. Efecto del nuevo blindaje en el consumo de combustible

El nuevo sistema de blindaje debe justificar su implementación mediante beneficios económicos tangibles:

1. Reducción en el consumo de combustible

El análisis del ahorro en consumo de combustible debido a la implementación del nuevo sistema de blindaje se desarrolló mediante el siguiente procedimiento:

Obtención de datos operativos iniciales

Se recopiló información técnica sobre las lanchas "Amazonas", incluyendo las especificaciones de los motores fuera de borda (Yamaha de 200 HP, 2 tiempos), las velocidades promedio de operación, y el consumo de combustible en condiciones actuales.

• Generación de curva de consumo de combustible versus RPM para motor de 200 hp de 2T.

Para estimar esta curva, se empleó como referencia la curva de otro motor de la misma marca y tipo (dos tiempos), pero con diferente potencia, ya que no se encontró la curva específica del motor objetivo en la literatura ni en fuentes disponibles en la web.

Este método sigue los siguientes pasos:

1. Factor de Potencia :
$$F.P = \frac{Potencia \ a \ estimar (200 \ hp)}{Potencia \ dada (70 \ hp)}$$

2. Escalamiento no lineal del consumo:

$$Q_{200} = Q_{70} x \left(\frac{Potencia \ a \ estimar \ (200 \ hp)}{Potencia \ dada \ (70 \ hp)}\right)^n$$

Donde n es un exponente empírico que determina cómo el consumo varía en función de la potencia, ajustándose a las características específicas del motor para el cual se desea estimar la curva.

- Consumo específico de combustible (SFC): Basado en especificaciones técnicas del fabricante (360 g/HP-h).
 - Densidad de la gasolina: 720 g/l.
 - Velocidades operativas promedio: Entre 20 y 30 nudos.

• Comparación de resultados:

Los resultados obtenidos permitieron construir una gráfica comparativa del consumo de combustible en función de la velocidad operativa para ambas configuraciones de blindaje:

- Blindaje antiguo: Mayor resistencia al avance se tradujo en un mayor consumo de combustible.
- Blindaje nuevo: La reducción en la resistencia permitió un menor consumo para alcanzar velocidades similares.

• Impacto en los costos operativos:

Finalmente, se calculó el costo operativo considerando:

Costo total
$$\binom{\$}{h} = Consumo \binom{l}{h} x Precio del combustible \binom{\$}{l}$$

Este análisis demostró que el nuevo sistema de blindaje no solo mejora la eficiencia energética, sino que también reduce los costos de operación a largo plazo.

CAPITULO 3

3. Resultados y análisis

3.1. Evaluación de las alternativas del sistema de blindaje.

En este subcapítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de la evaluación comparativa de los diferentes sistemas de blindaje considerados para las lanchas 'Amazonas'.

3.1.1. Revisión del blindaje actual:

El blindaje actual de las lanchas 'Amazonas' está compuesto por una estructura multicapa diseñada para ofrecer protección balística. Sin embargo, debido al desgaste y a las limitaciones del diseño original, se decidió realizar una evaluación técnica y práctica para determinar su efectividad en las condiciones operativas actuales.

I. Estructura del blindaje

La placa de blindaje original de los años 80 está conformada por los siguientes componentes:

- Capa principal: Tela de fibra de vidrio impregnada con resina, formando un material compuesto con un espesor total de aproximadamente 1.8 cm. Se estima que esta capa está compuesta por 25 a 28 sub-capas de fibra de vidrio, dependiendo del gramaje y la proporción de resina utilizada, ver Figura 5
- Capa secundaria: Cerámica balística formada por cuadros de 5x5 cm con un espesor promedio de 1 cm. Estos cuadros están adheridos entre sí y a la capa de fibra de vidrio mediante cemento de contacto, ver Figura 6.

 Cobertura externa: Tela dura y permeable que recubre el conjunto, también adherida con cemento de contacto. Esta cobertura protege el blindaje contra factores externos como golpes y desgaste superficial.



Figura 5. Placa Balística antigua, cara posterior



Figura 6. Placa Balística antigua, cara anterior

II. Prueba balística

Con el fin de evaluar el desempeño del blindaje actual, se llevó a cabo una prueba balística en una de las placas antiguas. Durante la prueba, se utilizó un fusil que disparó municiones de calibre **equivalente al 7.62**, simulando las condiciones de impacto que podrían enfrentar estas lanchas en escenarios reales.

III. Resultados de la prueba:

• Se realizaron seis disparos consecutivos sobre la misma placa.

- Todas las balas traspasaron el blindaje, quebrando los cuadros de cerámica y perforando completamente la capa de fibra de vidrio Ver Figura 7.
- La tela externa mostró desgarramiento alrededor de los puntos de impacto, lo que indica una falla estructural completa bajo este calibre.

Por lo tanto, se concluye que el blindaje ya no cumple con el nivel de protección balístico por el cual se había fabricado.



Figura 7. Placa Balística antigua, lado en donde se encuentra la cerámica balística

3.1.2. Propiedades y aplicaciones de materiales balísticos avanzados Cada material se analiza con base en sus propiedades mecánicas, peso específico, durabilidad, costo de implementación y viabilidad técnica, considerando las condiciones operativas y los requerimientos específicos de las embarcaciones. Finalmente, se comparan los resultados para identificar la mejor alternativa que combine eficiencia balística, peso reducido y practicidad de instalación.

I. Acero balístico

El acero balístico es un material ampliamente utilizado en sistemas de protección debido a su alta resistencia mecánica, capacidad de deformación controlada y propiedades de absorción de energía,como se muestra en la **Figura 8**. Este material se fabrica con tratamientos especiales de endurecimiento que maximizan su resistencia al impacto y a las fracturas por proyectiles de alta velocidad.



Figura 8. Acero balístico Fuente: Autoexpress (s.f.).

1. Propiedades mecánicas del acero balístico

El acero balístico destaca por su resistencia al impacto, permitiendo absorber grandes cantidades de energía cinética de proyectiles. Su dureza, que suele oscilar entre 500 y 600 Brinell (HB), le otorga una efectividad balística comprobada (ASM International, 2002). Sin embargo, su alta densidad limita su aplicabilidad en escenarios donde el peso es un factor crítico.

La Tabla 1, presenta un resumen de las propiedades mecánicas de diferentes grados de acero balístico, incluyendo su dureza Brinell (HB), resistencia a la tracción, límite elástico y alargamiento. Estos valores

permiten comparar el desempeño de diferentes tipos de acero en aplicaciones de protección.

Grado de Acero	Dureza Brinell (HB)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Alargamiento (%)
Mars® 280	280	700	500	20
Mars® 380	380	900	700	15
Mars® 440	440	1100	900	12
Mars® 500	500	1300	1100	10
Mars® 600	600	1500	1300	8

Tabla 1. Propiedades mecánicas de diferentes grados de acero balístico



De acuerdo con los valores mostrados, a medida que aumenta la dureza Brinell, se incrementan la resistencia a la tracción y el límite elástico, mientras que el alargamiento disminuye. Esto implica que los aceros más duros y resistentes, como el Mars® 600, ofrecen una mayor capacidad para detener proyectiles de alta velocidad, pero con una reducción en su capacidad de deformarse antes de fracturarse. Este equilibrio es crucial en el diseño de sistemas de protección balística que buscan maximizar la resistencia al impacto sin comprometer la integridad estructural del sistema.

2. Peso específico del acero balístico

Con una densidad de aproximadamente 7.85 g/cm³, el acero balístico es considerablemente más pesado que otros materiales evaluados en este análisis. Si el sistema balístico fuera de este material, el peso aproximado sería de 584.78 kilogramos aproximadamente, apenas el 2,8 % de disminución de peso con respecto al blindaje antiguo. Por lo tanto, la selección de este material no resultaría en una mejora significativa de acuerdo a los objetivos que queremos obtener.

3. Durabilidad y mantenimiento del acero balístico

El acero balístico tiene una vida útil prolongada, siempre que se realice un mantenimiento adecuado. Sin embargo, en entornos marinos, es susceptible a la corrosión, lo que exige tratamientos adicionales, como recubrimientos anticorrosivos, para mantener su desempeño óptimo. Estos tratamientos incrementan los costos de operación y mantenimiento (ASM International, 2002).

4. Costos de implementación del acero balístico

El costo inicial del acero balístico, con un espesor de 6,2 mm (espesro recomendado para soportar municiones calibre 7,62 mm) se estima en **\$1.680 USD más IVA (15%)** por lámina de 1,5 m×3,0 m lo que implica un costo total aproximado de **\$5.796 USD** para cubrir los 12 m² requeridos.

Además, su implementación incluye costos adicionales significativos asociados al corte de las láminas para adaptarse a las dimensiones específicas de la embarcación. Adicionalmente, el acero balístico requiere cambios estructurales debido a la incompatibilidad tanto galvánica como de soldadura con el casco de aluminio naval.

Esto hace necesario el uso de elementos bimetálicos (aluminio-acero) para permitir su integración, los cuales, aunque no han sido cuantificados en detalle, lógicamente incrementarían el peso total de la embarcación. Este aumento de peso afectaría el desempeño hidrodinámico y generaría un impacto negativo en la eficiencia operativa, tanto en consumo de combustible como en velocidad máxima alcanzable.

En conjunto, los costos adicionales y las implicaciones estructurales disminuyen la viabilidad técnica y económica del acero balístico como opción de blindaje para la embarcación.

5. Viabilidad técnica y práctica del acero balístico

El acero balístico es un material fácil de trabajar, ya que puede ser cortado, moldeado y soldado utilizando herramientas convencionales. Sin embargo, un aspecto crítico es la incompatibilidad de su instalación en embarcaciones construidas en aluminio naval. Debido a las diferencias de propiedades físicas y químicas entre ambos materiales, la combinación podría generar problemas de corrosión galvánica, especialmente en un entorno marino. Además, se requerirían técnicas especiales de fijación para evitar daños al casco de aluminio, lo que podría incrementar la complejidad y el costo del proceso de instalación.

6. Ventajas y desventajas del acero balístico

- Ventajas:
- Alta resistencia al impacto y efectividad balística comprobada.
- Relativamente económico en términos de costos iniciales.
- Fácil disponibilidad y capacidad de trabajo.

• Desventajas:

- Peso elevado en comparación con el aluminio naval, afectando la maniobrabilidad y eficiencia.
- Requiere un espesor de13 mm para resistir municiones de 7.62 mm, lo que lo hace mucho más pesado que el blindaje actual.
- Alta susceptibilidad a la corrosión en entornos marinos.
- Costos de mantenimiento prolongados.

- Complejidad de instalación debido a la incompatibilidad con cascos de aluminio naval.

II. Fibra Aramida

Las fibras aramidas, como Kevlar*, son ampliamente reconocidas por su resistencia balística y peso ligero. Estas fibras destacan por su alta resistencia a la tracción, bajo alargamiento y resistencia térmica, características que las convierten en una opción preferida en sistemas de protección balística (Mouritz & Bannister, 2015). Ver Figura 9.



Figura 9. Tela de aramida - kevlar Fuente: DuPont (n.d.).

Los avances en la fabricación de fibras aramidas incluyen procesos de hilado en seco y húmedo, los cuales maximizan las propiedades mecánicas del material. Entre sus aplicaciones, se destacan:
- Sistemas de protección balística: Chalecos antibalas, cascos, y paneles blindados.
- **Refuerzos estructurales:** Cascos de embarcaciones y aeronaves.
- Componentes de alta tecnología: Neumáticos y cables resistentes a la abrasión.

A pesar de sus ventajas, las aramidas presentan limitaciones como la degradación por exposición a los rayos UV y ciertos productos químicos.

1. Propiedades mecánicas de la fibra aramida

La fibra aramida destaca por su alta resistencia a la tracción y al impacto, lo que le permite absorber grandes cantidades de energía cinética. Este material tiene un módulo de elasticidad relativamente alto en comparación con otros polímeros, aunque es inferior al de materiales metálicos como el acero. Además, su capacidad de mantener sus propiedades estructurales bajo esfuerzos dinámicos lo convierte en una opción adecuada para protección balística (Savage, 1993). Sin embargo, es susceptible al daño por exposición prolongada a la radiación ultravioleta y a la humedad, lo que puede reducir su desempeño en un ambiente marino con el tiempo.



Figura 10. Curva Esfuerzo versus deformación por flexión de fibras balísticas de aramida Kevlar
 Fuente: Mouritz y Bannister (2015). Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.

La Figura 10 muestra las curvas esfuerzo-deformación de diferentes tipos de fibras balísticas avanzadas, como Kevlar^®. Estas curvas destacan las diferencias en resistencia y rigidez entre los tipos Kevlar^® 29, 49 y 149. Como se observa, Kevlar^® 149 presenta la mayor resistencia a la tracción, mientras que Kevlar^® 29, aunque menos resistente, permite una mayor deformación antes de fallar.



Figura 11. Curva Esfuerzo versus deformación por flexión de fibras balísticas avanzadas y materiales textiles comparativos.

Fuente: Mouritz y Bannister (2015). Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.

La Figura 11 ilustra la relación entre el esfuerzo (stress) y la deformación por flexión (flexural strain) de diferentes materiales, reflejando su comportamiento mecánico bajo carga. Los materiales rígidos, como el Kevlar-like, exhiben alta resistencia y baja deformación, mientras que materiales como el Nylon-like ofrecen un balance entre flexibilidad y resistencia. Por otro lado, materiales como la Lycra-like, de naturaleza elastomérica, muestran baja resistencia inicial pero alta capacidad de deformación. Esta comparación es fundamental para aplicaciones específicas donde se prioriza la rigidez, la elasticidad o la resistencia al impacto. Estas propiedades reflejan la versatilidad de las fibras aramidas en aplicaciones balísticas, ya que permiten diseñar sistemas de protección optimizados para distintos requisitos de rendimiento.

Туре	Tenacity (mN/tex)	Initial modulus (N/tex)	Elongation at break (%)
Kevlar [®] 29	2030	49	3.6
Kevlar [®] 49	2080	78	2.4
Kevlar [®] 149	1680	115	1.3
Nomex [®]	485	7.5	35
Twaron [®]	2100	60	3.6
Twaron [®] High-Modulus	2100	75	2.5
Technora [®]	2200	50	4.4

Tabla 2. Propiedades mecánicas de diferentes fibras balístico

- -

Fuente: Mouritz y Bannister (2015). Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.

La Tabla 2 presenta las propiedades mecánicas de varias fibras balísticas avanzadas, incluyendo diferentes tipos de Kevlar^®, Nomex^®, Twaron^® y Technora^®. Estas fibras se destacan por su alta tenacidad y resistencia, lo que las convierte en opciones viables para sistemas de protección balística.

Kevlar[®] 149, por ejemplo, presenta el mayor módulo inicial, lo que indica una mayor rigidez, mientras que Nomex[®] tiene una elongación al punto de rotura significativamente mayor, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones que requieren absorción de energía.

2. Peso específico de la fibra aramida

Con una densidad de aproximadamente 1.44 g/cm³, la fibra aramida es significativamente más ligera que el acero balístico. Este bajo peso contribuye

a mejorar la maniobrabilidad y el rendimiento de las embarcaciones al reducir la carga total. Por esta razón, se considera una alternativa viable en términos de eficiencia operativa.

3. Durabilidad y Mantenimiento de la fibra aramida

Aunque la fibra aramida es resistente a la corrosión, presenta una sensibilidad notable a condiciones ambientales extremas, como la exposición prolongada a la luz solar y a la humedad. Para evitar la degradación de sus propiedades, es necesario aplicar recubrimientos protectores o incluirla en matrices compuestas que proporcionen una barrera adicional frente a estos factores.

4. Costos de implementación de la fibra aramida

El costo inicial de la fibra aramida es más alto que el del acero balístico. Sin embargo, su bajo peso y su menor necesidad de mantenimiento en comparación con el acero pueden compensar este costo en aplicaciones donde la reducción del peso y el aumento de la eficiencia son prioritarios. Además, su integración como parte de un laminado compuesto puede simplificar su instalación.

5. Viabilidad técnica y práctica de la fibra aramida

La fibra aramida es fácil de integrar en diseños de blindaje compuestos, especialmente cuando se utiliza en combinación con matrices de resina para formar laminados. Sin embargo, su susceptibilidad a la degradación por factores ambientales implica que deben tomarse medidas adicionales para garantizar su durabilidad a largo plazo.

En aplicaciones marinas, se deben considerar sistemas de encapsulamiento para mitigar los efectos de la humedad y la radiación ultravioleta.

6. Ventajas y desventajas de la fibra aramida

- Ventajas:
- Alta resistencia a la tracción y al impacto.
- Peso significativamente más bajo que el acero balístico y el aluminio naval.
- Resistente a la corrosión, lo que reduce los costos de mantenimiento en comparación con el acero.

• Desventajas:

- Sensibilidad a la radiación ultravioleta y a la humedad, lo que puede requerir protección adicional.
- Costo inicial elevado en comparación con otros materiales evaluados.
- Requiere integración con matrices compuestas para maximizar su desempeño en aplicaciones marinas.

III. Cerámica balística

La cerámica balística se utiliza como un material acompañante en sistemas de blindaje compuesto, generalmente colocada detrás de una fibra balística como la fibra aramida. Ver Figura 12. Su función principal es dispersar la energía de los proyectiles al fracturarse, reduciendo así la carga que debe soportar el material balístico principal. Aunque no se utiliza de manera independiente, su incorporación puede mejorar significativamente el rendimiento del sistema de protección. A continuación, se analizan sus características principales:



Figura 12. Paneles de cerámica balística utilizados en protecciones balísticas avanzadas. Fuente: Wikipedia. (2025). Ceramica balistica. Recuperado de https://it.wikipedia.org/wiki/Ceramica_balistica

1. Propiedades mecánicas de cerámica balística

La cerámica balística tiene una alta dureza, lo que le permite romper y ralentizar los proyectiles al contacto inicial. Este material actúa dispersando la energía cinética mediante su fractura controlada, dejando a la fibra balística (como la fibra aramida) la tarea de absorber la energía residual. Las cerámicas comunes en aplicaciones balísticas incluyen el carburo de silicio (SiC) y la alúmina (Al₂O₃), que combinan resistencia a la compresión con un peso relativamente bajo en comparación con los metales.

Sin embargo, su naturaleza frágil hace que no puedan utilizarse como único material en blindajes, ya que no resisten deformaciones importantes sin fracturarse.

Material Cerámico	Densidad (g/cm³)	Dureza Vickers (GPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Tenacidad a la Fractura (MPa∙m¹/²)
Alúmina (Al₂O₃)	3.5 - 3.6	≥12	≥310	≥5
Carburo de Boro (B₄C)	2.50	28	425	-
Aluminato de Magnesio (Spinel)	3.58	14	350	-

Tabla 3. Propiedades mecánicas de materiales cerámicos balístico

Fuente: Solcera (2021). Protecciones balísticas.

En la Tabla 3, se presentan las propiedades mecánicas de las cerámicas balísticas más utilizadas en la actualidad, destacando su densidad, dureza Vickers, resistencia a la flexión y tenacidad a la fractura. Estas características permiten comparar el desempeño de materiales como la alúmina (Al_2O_3), el carburo de boro (B_4C) y el aluminato de magnesio (Spinel)."

2. Peso específico de cerámica balística

Aunque las cerámicas son más ligeras que el acero balístico, su inclusión incrementa el peso del sistema de blindaje en comparación con el uso exclusivo de fibras balísticas. Esto se debe a que la cerámica debe ser lo suficientemente gruesa para disipar la energía del proyectil y a la necesidad de adhesivos o estructuras adicionales para fijarla correctamente al sistema.

Por ejemplo, la alúmina, una de las cerámicas balísticas más utilizadas, tiene un peso específico de aproximadamente 3.95 g/cm³ (Callister & Rethwisch, 2020), lo que la hace significativamente más pesada que las fibras aramidas o el UHMWPE. El peso del sistema compuesto (fibra balística + cerámica) puede superar considerablemente al de una placa únicamente de fibra. Por ejemplo, un panel de cerámica de 1 cm de espesor combinado con fibras puede aumentar el peso en hasta un 50 % en comparación con sistemas exclusivamente de fibras balísticas, lo que representa una desventaja en aplicaciones donde la reducción de peso es prioritaria.

3. Durabilidad y mantenimiento de cerámica balística

La cerámica balística, como la alúmina, es altamente resistente a la corrosión y al desgaste, lo que la convierte en un material ideal para aplicaciones en entornos hostiles, incluidos los ambientes marinos. Sin embargo, su durabilidad está condicionada por su capacidad balística.

Una vez que una placa de cerámica sufre el impacto de un proyectil, aunque este no penetre, el material en esa área específica se fractura internamente, perdiendo su efectividad balística. Según investigaciones y recomendaciones de la industria, las placas de cerámica pueden mantener su efectividad en condiciones normales entre 10 y 15 años, siempre y cuando no sufran impactos y se mantengan adecuadamente almacenadas y protegidas contra daños físicos y ambientales (Mouritz & Bannister, 2015).

Por esta razón, los sistemas de blindaje que incorporan cerámicas requieren una inspección regular y el reemplazo de las placas dañadas, incrementando los costos operativos a largo plazo. Esta necesidad de mantenimiento subraya la importancia de un diseño modular que facilite el acceso y la sustitución de componentes afectados.

4. Costo de implementación de cerámica balística

El costo de las cerámicas balísticas, como la alúmina de 1 cm de espesor (utilizado en el sistema de blindaje antiguo), es relativamente alto debido a los procesos avanzados necesarios para su fabricación. Según estimaciones del mercado internacional, el costo base puede oscilar entre \$400 y \$600 USD/m².

Sin embargo, si se importara, este valor podría incrementarse debido a costos adicionales de transporte, aranceles, impuestos locales y márgenes de comercialización. Una estimación referencial indica que el costo final en el mercado local podría variar entre \$672 y \$1,009 USD/m².

Este rango no incluye los gastos asociados a su integración, como adhesivos especializados y sistemas de unión, que también aumentan los costos totales. Además, si no se adhiere correctamente, el rendimiento del sistema puede verse comprometido, lo que subraya la importancia de un diseño e instalación precisos en su implementación.

5. Viabilidad técnica y práctica de cerámica balística

La incorporación de cerámica balística en un sistema de blindaje compuesto es técnicamente viable siempre que se cumplan dos condiciones clave:

- La cerámica debe estar correctamente adherida a la fibra balística mediante adhesivos de alto rendimiento para evitar la delaminación.
- El aumento de peso generado por la cerámica debe ser considerado en el diseño estructural de la embarcación para garantizar la maniobrabilidad y el rendimiento.

Además, el uso de cerámica requiere una cuidadosa planificación para garantizar que las placas puedan ser reemplazadas fácilmente tras el impacto, sin comprometer la integridad del sistema.

6. Ventajas y desventajas de cerámica balística

- Ventajas:
- Alta dureza, lo que permite romper y dispersar la energía de los proyectiles.
- Resistente a la corrosión y adecuado para ambientes marinos.
- Mejora la efectividad balística del sistema compuesto.
- Desventajas:
- Incremento de peso en comparación con el uso exclusivo de fibras balísticas.
- Fragilidad inherente, ya que pierde efectividad tras el impacto.
- Alto costo de fabricación y adhesión especializada.

IV. Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE)

El polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) es un polímero avanzado ampliamente utilizado en aplicaciones balísticas debido a su combinación de alta resistencia mecánica, bajo peso y excelente desempeño en absorción de energía. Ver Figura 13.

Este material se presenta como una opción prometedora para reemplazar los blindajes actuales en las lanchas "Amazonas". A continuación, se detallan sus principales características:



Figura 13. *Rollo de tela UHMWPE Fuente: Mouritz y Bannister (2015).* Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.

1. Propiedades mecánicas de (UHMWPE)

El UHMWPE destaca por su altísima resistencia a la tracción y su capacidad de absorber energía cinética de proyectiles, gracias a su estructura molecular extremadamente densa y entrelazada. Ver Figura 14 y Figura 15. A diferencia de otros materiales como la fibra aramida, el UHMWPE tiene una resistencia aún mayor al impacto y menor sensibilidad a condiciones ambientales adversas como la humedad y la radiación ultravioleta (Wolfe, 2015).

Estas propiedades lo convierten en uno de los materiales más eficientes para aplicaciones de protección balística. Sin embargo, su resistencia al calor es limitada, ya que puede deformarse a temperaturas relativamente bajas (alrededor de 130 °C).



Figura 14. Curva Esfuerzo-deformación de hilo de UHMWPE

Fuente: Mouritz y Bannister (2015). Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.



Figura 15. Tenacidad-elongación de hilo de UHMWPE Fuente: Mouritz y Bannister (2015). Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection.

2. Peso específico de (UHMWPE)

El UHMWPE tiene una densidad de aproximadamente 0.93 g/cm³, lo que lo convierte en uno de los materiales más ligeros evaluados en este análisis. Para un sistema de protección balístico con un espesor de 30 mm y una

superficie de 12 m², el peso total sería de aproximadamente 212 kilogramos aproximadamente. Su baja densidad contribuye significativamente a reducir el peso total del blindaje, mejorando la maniobrabilidad y la eficiencia operativa de las lanchas.

En comparación, es considerablemente más liviano que el acero balístico, que para el mismo volumen pesaría 735 kg, y también más liviano que la fibra aramida. Estas características lo hacen ideal para aplicaciones donde la reducción de peso es una prioridad, maximizando el rendimiento y reduciendo el consumo de combustible.

3. Durabilidad y mantenimiento de (UHMWPE)

El UHMWPE es altamente resistente a la corrosión y no se ve afectado por la humedad ni los agentes químicos, lo que lo convierte en un material ideal para entornos marinos. Según estudios previos, este material tiene una vida útil estimada de aproximadamente 25 años, siempre que se encuentre en condiciones de operación normales y libre de exposición prolongada a temperaturas extremas (Mouritz & Bannister, 2015).

Además, mantiene sus propiedades estructurales durante largos períodos sin requerir un mantenimiento significativo. Sin embargo, debido a su susceptibilidad al calor, es necesario evitar exposiciones prolongadas a temperaturas elevadas, especialmente durante su fabricación o instalación (DuPont, 2023).

4. Costo de implementación de (UHMWPE)

El UHMWPE tiene un costo inicial relativamente alto debido a los procesos avanzados necesarios para su fabricación, como la alineación de moléculas en estructuras unidireccionales. No obstante, el costo puede justificarse en aplicaciones donde el peso reducido y la eficiencia balística son esenciales. Además, su facilidad de instalación y menor requerimiento de mantenimiento pueden compensar la inversión inicial a largo plazo.

5. Viabilidad técnica y práctica de (UHMWPE)

El polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) tiene un costo estimado de \$1,800 por metro cuadrado con un espesor de 30 mm. Aunque el costo inicial es mayor en comparación con materiales como el acero balístico, su menor peso y facilidad de instalación permiten reducir costos adicionales asociados, como modificaciones estructurales y mantenimiento. En términos de costo-beneficio, este material representa una inversión estratégica para aplicaciones donde la reducción de peso y la eficiencia balística son críticas.

6. Ventajas y desventajas de (UHMWPE)

- Ventajas:
- Alta resistencia al impacto y capacidad de absorción de energía.
- Peso extremadamente bajo en comparación con otros materiales.
- Resistente a la corrosión, humedad y agentes químicos.
- Fácil integración en sistemas compuestos y diseños personalizados.
- Desventajas:
- Susceptibilidad al calor, lo que limita su uso en condiciones de alta temperatura.
- Costo inicial elevado en comparación con materiales tradicionales.

3.1.3. Comparación de materiales balísticos

En esta sección, se realiza una comparación entre los materiales analizados previamente para evaluar su viabilidad como alternativas al blindaje actual de las lanchas "Amazonas". La comparación se basa en criterios clave como resistencia balística, densidad, costo, durabilidad y facilidad de

implementación, considerando las necesidades específicas de operación y diseño de las embarcaciones.

Para facilitar la interpretación de los datos, se incluye una tabla comparativa que resume las principales características de cada material, seguida de una discusión crítica que analiza los resultados y destaca las ventajas y desventajas de cada opción. Este análisis tiene como objetivo identificar el material que mejor cumpla con los requisitos técnicos y operativos de las lanchas.

I. Tabla comparativa de los materiales

La Tabla 4, resume las características clave de los materiales evaluados. Estas características incluyen propiedades mecánicas, densidad, costo estimado, durabilidad, y aspectos prácticos relacionados con su implementación en las lanchas "Amazonas".

Característica	Acero balístico	Fibra aramida	Cerámica balística (acompañante)	UHMWPE
Resistencia balística	Alta (calibres pesados)	Alta (ligera y flexible)	Muy alta (combinada con fibras)	Alta (efectiva calibres medianos)
Densidad (g/cm³)	7.85	1.44	3.95	0.93
Costo relativo (USD/12m²)	6955.2	18000	12108	21600
Durabilidad (años)	15 (requiere anticorrosión)	20 (sensible a UV/humedad)	15 (fragilidad tras impacto)	25 (resistente a químicos)
Peso total (kg para 12 m²)	753	173	474	334.8
Facilidad de instalación	Moderada (requiere refuerzos)	Alta (flexible en diseño)	Media (adhesión especializada)	Alta (ligero y adaptable)
Compatibilidad con aluminio	Baja (corrosión galvánica)	Alta	Alta	Alta

Tabla 4. Comparación de materiales balísticos: Acero, fibra aramida, cerámica balística yUHMWPE

Fuente: elaboración propia

II. Discusión crítica

En esta sección, se analizan los datos de la tabla comparativa, destacando los principales puntos fuertes y limitaciones de cada material en el contexto de su aplicación en las lanchas "Amazonas":

1. Resistencia balística

- El acero balístico y la fibra aramida ofrecen alta resistencia balística, pero con enfoques diferentes. El acero es rígido y efectivo contra municiones pesadas, mientras que la fibra aramida combina resistencia con flexibilidad.
- La cerámica balística tiene la mayor capacidad de detener proyectiles cuando se combina con fibras balísticas. Sin embargo, al ser un material frágil, requiere un diseño compuesto que absorba las fuerzas residuales.
- El UHMWPE ofrece alta resistencia al impacto con la ventaja de ser el más ligero, aunque tiene límites de temperatura que podrían ser críticos en ciertas condiciones.

2. Peso total

- El peso del acero balístico es significativamente mayor que el de las demás alternativas, lo que afecta negativamente la maniobrabilidad y eficiencia de las lanchas.
- La fibra aramida y el UHMWPE son las opciones más ligeras, siendo este último el más eficiente en términos de peso, lo que lo hace ideal para aplicaciones en embarcaciones.
- La cerámica, al usarse como acompañante, incrementa el peso del sistema compuesto, pero ofrece beneficios balísticos adicionales.

3. Durabilidad y compatibilidad

- El acero balístico tiene problemas de corrosión en entornos marinos, lo que genera altos costos de mantenimiento y reduce su vida útil. Además, su incompatibilidad con cascos de aluminio debido a la corrosión galvánica es una desventaja significativa.
- La fibra aramida tiene una buena durabilidad, aunque es sensible a la radiación UV y a la humedad. Estos problemas pueden mitigarse con recubrimientos protectores.
- La cerámica balística es resistente a la corrosión y adecuada para entornos marinos, pero su fragilidad y necesidad de adhesión especializada representan retos.
- El UHMWPE destaca por su durabilidad en condiciones marinas y su compatibilidad con cascos de aluminio, lo que reduce los costos de mantenimiento y mejora la viabilidad a largo plazo.

4. Costo y facilidad de implementación

- El acero balístico tiene el menor costo inicial, pero requiere refuerzos estructurales y un mantenimiento constante, lo que incrementa su costo total de operación.
- La fibra aramida y el UHMWPE tienen costos iniciales más altos, pero su menor necesidad de mantenimiento y su facilidad de instalación compensan esta inversión.

 La cerámica balística, aunque efectiva, tiene un costo elevado debido a su fabricación y a la necesidad de adhesivos especializados para combinarla con fibras balísticas.

3.1.4. Material recomendado o seleccionado

I. Justificación del material recomendado

Con base en el análisis comparativo presentado en la sección anterior, el **polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE)** se identifica como la alternativa más viable para el blindaje de las lanchas "Amazonas". Esta elección se fundamenta en los siguientes aspectos clave:

1. Peso reducido

 El UHMWPE, con una densidad de 0.93 g/cm³, es significativamente más ligero que el acero balístico y la fibra aramida. Este bajo peso contribuye a mantener la maniobrabilidad de las lanchas y reduce el consumo de combustible, factores cruciales en operaciones marítimas.

2. Alta resistencia balística

 Este material presenta una resistencia balística comparable a la fibra aramida, siendo capaz de absorber grandes cantidades de energía cinética. Esto lo convierte en una opción efectiva contra amenazas balísticas específicas, como municiones de 7.62 mm.

3. Compatibilidad con el diseño actual

 A diferencia del acero balístico, el UHMWPE es completamente compatible con cascos de aluminio naval, ya que no genera corrosión galvánica. Además, su flexibilidad permite una instalación más sencilla y rápida, sin necesidad de realizar modificaciones estructurales significativas.

4. Durabilidad en condiciones marinas

 El UHMWPE es altamente resistente a la corrosión, la humedad y los agentes químicos presentes en entornos marinos. Esto reduce los costos de mantenimiento y aumenta la vida útil del blindaje.

5. Impacto operativo

 Su peso ligero y alta resistencia mejoran el desempeño general de las lanchas, permitiendo mantener una velocidad óptima y una mayor eficiencia en el consumo de combustible, lo cual es esencial para operaciones de larga duración.

6. Limitaciones del material seleccionado

Aunque el UHMWPE es una opción destacada, también presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas durante su implementación.

7. Susceptibilidad al calor

 Este material tiene un límite de temperatura relativamente bajo (alrededor de 130 °C), lo que puede ser un desafío en escenarios donde exista exposición prolongada a altas temperaturas.

8. Costo inicial elevado

 El costo de fabricación e instalación del UHMWPE es mayor que el del acero balístico. Sin embargo, este costo puede compensarse a largo plazo debido a su menor mantenimiento y mayor eficiencia operativa.

II. Comparación con el blindaje actual

El blindaje actual de las lanchas "Amazonas" está fabricado con una combinación de fibra con resina y cerámica balística, materiales que han cumplido su propósito básico en el pasado, pero que presentan limitaciones significativas en términos de efectividad balística, peso y practicidad operativa. A continuación, se presenta una comparación directa entre el polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) y el blindaje actual:

1. Resistencia balística

En pruebas realizadas con el blindaje actual, se demostró que este no es efectivo frente a municiones de calibre 5.56 mm, por tanto, tampoco es efectivo para municiones 7.62 mm, ya que la munición logró traspasarlo, comprometiendo la seguridad que se espera de un sistema de protección. En contraste, el UHMWPE, probado en probetas de 30 x 30 cm con un espesor de 3 cm, fue capaz de detener municiones equivalentes sin traspaso, garantizando un nivel de protección superior.

2. Peso total

El blindaje actual tiene un peso aproximado de 53 kg/m², lo que equivale a un peso total de 636 kg para un área de 12 m². Por otro lado, el UHMWPE, con un espesor de 3 cm y una densidad de 0.93 g/cm³, tendría un peso total de 334.8 kg para la misma área. Esto representa una reducción del 46% en el peso, lo que mejora considerablemente la maniobrabilidad, velocidad y eficiencia de combustible de las lanchas.

3. Durabilidad en condiciones marinas

Aunque el blindaje actual tiene cierta resistencia a la corrosión, sus componentes de resina y cerámica pueden degradarse con el tiempo, especialmente en entornos de alta humedad y salinidad. Por el contrario, el UHMWPE es completamente resistente a la corrosión y a los agentes

químicos presentes en el ambiente marino, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil del blindaje.

4. Facilidad de implementación

El UHMWPE se puede instalar como un sistema de blindaje complementario sin necesidad de realizar modificaciones estructurales significativas en las lanchas. Su flexibilidad y bajo peso simplifican el proceso de instalación, a diferencia del blindaje actual, que combina materiales más pesados y menos adaptables.

En conclusión, el UHMWPE no solo supera al blindaje actual en términos de peso, durabilidad y facilidad de implementación, sino que también resuelve la falta de efectividad balística demostrada en las pruebas realizadas. Este cambio representaría una mejora significativa en la protección y el desempeño operativo de las lanchas "Amazonas".

3.2. Análisis de estabilidad e hidrodinámico de la lancha amazonas

Para llevar a cabo el análisis hidrodinámico y de estabilidad de las lanchas Amazonas, se utilizó un enfoque metodológico basado en herramientas especializadas de diseño y simulación.

En primer lugar, se modeló el casco de la lancha utilizando el software **Rhino**, lo que permitió generar una representación tridimensional precisa que respetaba las dimensiones y características originales. Una vez finalizado el modelo, este fue importado a **Maxsurf Resistance** para realizar el análisis correspondiente.

3.2.1. Evaluación de la resistencia al avance

En el módulo Resistance de Maxsurf (Bentley Systems, s.f.), se realizaron simulaciones con el objetivo de determinar cómo las características del blindaje afectaban la resistencia al avance del buque. Se analizaron dos escenarios principales:

- Con el blindaje original: Este diseño, basado en fibra con resina y cerámica balística, presentaba un peso elevado, lo que influía negativamente en la resistencia al avance y limitaba la velocidad máxima alcanzable.
- Con el nuevo material: Se evaluó el desempeño de las lanchas utilizando polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) como material de blindaje. Este material, significativamente más ligero, redujo de manera notable la resistencia al avance.

Para este análisis, se asumió una distribución de pesos a plena carga, considerando un desplazamiento total de 4,8 toneladas, una eficiencia propulsiva del 45%, tomando en consideración la eficiencia del motor. Estos datos fueron ingresados al programa Maxsurf, como se detalla en la Tabla D.1 de los anexos.

Resultados obtenidos:

1. Resistencia al avance:

Con el material UHMWPE, la resistencia al avance disminuyó considerablemente en comparación con el blindaje original.



Figura 16. Gráfica comparativa resistencia-velocidad considerando el blindaje nuevo y el blindaje antiguo Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

La Figura 16, "**Resistencia vs Velocidad**" ilustra cómo la resistencia hidrodinámica varía en función de la velocidad del buque para los dos tipos de blindaje evaluados: el blindaje antiguo (fibra con resina y cerámica balística) y el nuevo blindaje (polietileno de ultra alto peso molecular, UHMWPE).

2. Reducción de la resistencia:

En velocidades bajas y medias (entre 10 y 25 nudos), la resistencia con el blindaje nuevo es consistentemente menor que con el blindaje antiguo. Este intervalo representa un rango de operación típico para la lancha Amazonas, lo que confirma una mejora significativa en la eficiencia.

La diferencia es más pronunciada cerca de los 15 nudos, donde el blindaje nuevo reduce la resistencia aproximadamente en un **15%** respecto al blindaje antiguo.

3. Resistencia máxima:

La gráfica de resistencia al avance (Figura 16) revela un incremento significativo en la transición de desplazamiento a planeo, alcanzando su máximo alrededor de los 15 nudos, lo que representa una fase crítica para el casco. Este aumento se debe al mayor ángulo de trimado y la superficie mojada, que incrementan la resistencia hidrodinámica. En esta fase, el blindaje antiguo registra una resistencia máxima de aproximadamente **9.2 kN**, mientras que el blindaje nuevo alcanza un valor máximo reducido de **8.3 kN**, lo que representa una disminución del **10%** en la resistencia máxima al avance.

Esta optimización, atribuida a la reducción del peso total, mejora las condiciones de planeo, favorece la maniobrabilidad y disminuye el esfuerzo requerido para alcanzar y mantener velocidades operativas, impactando positivamente en la eficiencia y el consumo de combustible.

4. Comportamiento en altas velocidades:

En el rango superior de velocidad (30-40 nudos), la resistencia con el blindaje nuevo sigue siendo notablemente inferior, permitiendo al buque alcanzar mayores velocidades con menor esfuerzo. Esto respalda el incremento en la velocidad máxima logrado con el nuevo diseño.

5. Impacto en velocidad máxima:

Gracias a la reducción general de la resistencia, el buque con el blindaje nuevo logra un incremento en la velocidad máxima de aproximadamente **3 nudos**. Esta mejora tiene un impacto directo en la operación de la embarcación, haciéndola más versátil y eficiente.

6. Impacto en el consumo de combustible

La incorporación del nuevo blindaje de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) no solo mejora el desempeño hidrodinámico de la lancha Amazonas, sino que también tiene un impacto significativo en la eficiencia energética, reduciendo el consumo de combustible en operaciones de patrullaje.

Relación entre Potencia y Velocidad:

La potencia requerida por los motores está directamente relacionada con la resistencia al avance del buque y, por ende, con el consumo de combustible. En la figura se presenta la relación entre la potencia y la velocidad para los dos tipos de blindaje evaluados.

- Blindaje antiguo: La potencia requerida aumenta más rápidamente con la velocidad debido a la mayor resistencia al avance. A velocidades cercanas a los 40 nudos, la potencia se aproxima al límite máximo de 400 HP de los motores, reduciendo la eficiencia operativa.
- Blindaje nuevo: Gracias a la menor resistencia al avance, la potencia requerida es consistentemente más baja a lo largo de todo el rango de velocidades. Esta diferencia se hace especialmente notable en velocidades intermedias (20-25 nudos), donde se observa una reducción de aproximadamente un 10% en la potencia demandada. Ver Figura 17.



Figura 17. Gráfica comparativa potencia versus velocidad considerando blindaje nuevo y blindaje antiguo



3.2.2. Análisis de estabilidad dinámica

La estabilidad dinámica evalúa cómo afecta el peso y la distribución del blindaje al comportamiento de la lancha durante maniobras y condiciones de oleaje. Este análisis se realizó en Maxsurf Motion, simulando los siguientes escenarios:

- a) Condición con blindaje actual: Peso elevado y distribución más homogénea.
- b) Condición con UHMWPE: Peso reducido y distribución similar.

I. Resultados obtenidos de estabilidad dinámica RAOs

Los resultados obtenidos con Maxsurf Motion para la embarcación con el blindaje original o antiguo y nuevo permitieron evaluar su comportamiento dinámico en diferentes condiciones de operación. Se realizaron simulaciones para velocidades de 8, 10, 15, 20 y 28 nudos, considerando alturas de ola de 0.5, 1.0 y 1.5 m. A continuación, se resumen los hallazgos principales:

II. Comportamiento dinámico a 28 nudos con el blindaje antiguo

La Figura 18 muestra los Response Amplitude Operators (RAOs) obtenidos para la embarcación con el blindaje antiguo operando a una velocidad de 28 nudos en tres alturas de ola diferentes (0.5, 1.0 y 1.5 metros). Este análisis permite evaluar la respuesta dinámica del casco en términos de movimientos verticales (heave), cabeceo (pitch) y balanceo (roll), parámetros críticos para determinar el desempeño hidrodinámico.



Figura 18. Gráfica Rao-altura de ola a 28 nudos, blindaje antiguo Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

• Movimiento vertical (heave) con blindaje antiguo:

Se observa un incremento lineal en las amplitudes de heave a medida que aumenta la altura de las olas. A una ola de **1.5 m**, el RAO alcanza su valor máximo de **0.7**, lo que indica una respuesta moderada en condiciones de mar agitado.

• Cabeceo (pitch) con blindaje antiguo:

El cabeceo también incrementa con la altura de las olas, con valores de RAO inferiores al heave pero siguiendo una tendencia similar. Este comportamiento sugiere que el casco mantiene una respuesta estable en el eje longitudinal incluso en condiciones adversas.

• Balanceo (roll) con blindaje antiguo:

Las amplitudes de roll son las más bajas en todas las alturas de ola, alcanzando un máximo de **0.1** a una ola de **1.5 m**. Esto refuerza la estabilidad transversal del diseño del casco, que no presenta movimientos laterales significativos.

III. Comportamiento dinámico a 28 nudos con el blindaje nuevo

La Figura 19, presentada muestra los **Response Amplitude Operators** (RAOs) para la embarcación con el **blindaje nuevo** operando a una velocidad de **28 nudos**, considerando tres alturas de ola diferentes: 0.5, 1.0 y 1.5 metros. Este análisis compara las respuestas dinámicas en movimientos verticales (heave), cabeceo (pitch) y balanceo (roll), parámetros clave para evaluar el desempeño hidrodinámico.



Figura 19. Gráfica Rao-altura de ola a 28 nudos, blindaje nuevo (UHMWPE) *Fuente:* Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

• Movimiento vertical (heave) con blindaje nuevo:

Las amplitudes de heave son menores en comparación con el blindaje original, alcanzando un máximo de 0.6 a una ola de 1.5 m. Esto indica una mejora en la estabilidad dinámica vertical, atribuible a la reducción de peso del blindaje.

• Cabeceo (pitch) con blindaje nuevo:

El pitch sigue un patrón similar al heave, con valores ligeramente inferiores. El máximo alcanzado es de **0.55** a una ola de **1.5 m**, lo que refleja un buen desempeño longitudinal incluso en condiciones de mar agitado.

• Balanceo (roll) con blindaje nuevo:

Las amplitudes de roll son las más bajas entre los tres movimientos, alcanzando un máximo de **0.09** a una ola de **1.5 m**. Esto confirma que el blindaje nuevo mantiene la excelente estabilidad transversal del diseño original, con un leve impacto debido al cambio en el peso y la distribución del mismo.

En comparación con el blindaje original, las amplitudes de heave y pitch son consistentemente más bajas con el blindaje nuevo en todas las alturas de ola analizadas. El balanceo (roll) también se reduce ligeramente, lo que sugiere una mejora general en la estabilidad dinámica de la embarcación.

El análisis de los RAOs con el blindaje nuevo destaca una mejora significativa en el comportamiento dinámico de la embarcación, con respuestas reducidas en los movimientos verticales y angulares. Estas mejoras refuerzan la viabilidad del blindaje nuevo como una solución más eficiente y estable para las lanchas "Amazonas".

IV. Resultados obtenidos de estabilidad dinámica (MSI) para el blindaje antiguo y nuevo



Figura 20. Gráfica comparativa MSI de ola a 28 nudos, blindaje antiguo-nuevo *Fuente:* Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

La Figura 20, presentada ilustra el Índice de Mareo (MSI), por sus siglas en inglés) de la embarcación a una velocidad de 28 nudos, considerando diferentes alturas de ola (0.5, 1.0 y 1.5 m), tanto con el blindaje antiguo como con el blindaje nuevo. Este indicador es crucial para evaluar el impacto del movimiento de la embarcación en el confort de los ocupantes y su capacidad para realizar actividades a bordo.

• Altura de ola de 0.5 m:

Con el **blindaje antiguo**, el MSI es del **5%**, mientras que con el **blindaje nuevo** se reduce a **3%**. Esta mejora refleja un menor impacto del movimiento en condiciones de olas bajas.

• Altura de ola de 1.0 m:

El MSI con el **blindaje antiguo** aumenta significativamente al **15%**, mientras que con el **blindaje nuevo** se limita al **10%**. Esto demuestra que el blindaje nuevo mitiga de forma más eficiente las respuestas dinámicas.

• Altura de ola de 1.5 m:

Con el **blindaje antiguo**, el MSI alcanza un **30%**, lo que indica un nivel considerable de incomodidad para los ocupantes. En cambio, el **blindaje nuevo** reduce este valor a **20%**, mejorando sustancialmente la habitabilidad a bordo.

El análisis del MSI evidencia que el **blindaje nuevo** contribuye significativamente a reducir los efectos de mareo en los ocupantes de la embarcación, especialmente en condiciones de mar moderado a agitado (olas de **1.0 m** o más). Esta mejora se atribuye a la reducción del peso y al consecuente impacto positivo en las respuestas dinámicas del casco.

V. Resultados obtenidos de estabilidad dinámica (CG Spectra) para el blindaje antiguo y nuevo



Figura 21. Gráfica comparativa Amplitude CG Spectra de ola a 28 nudos, blindaje antiguo-nuevo Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

La Figura 21, presentada compara las amplitudes del **CG Spectra** de la embarcación a una velocidad de 28 nudos, considerando diferentes alturas de ola (0.5, 1.0 y 1.5 m), tanto con el blindaje antiguo como con el blindaje nuevo. Este indicador es crucial para evaluar la sensibilidad del casco frente a las fuerzas hidrodinámicas externas.

- Altura de ola de 0.5 m: Con el blindaje antiguo, la amplitud del CG Spectra es de 0.65, mientras que con el blindaje nuevo disminuye a 0.5. Esto demuestra que, incluso en condiciones de olas bajas, el nuevo blindaje reduce la respuesta dinámica del casco.
- Altura de ola de 1.0 m: A medida que aumenta la altura de ola, las diferencias entre ambos blindajes son más notorias. Con el blindaje antiguo, la amplitud alcanza 0.8, mientras que con el blindaje nuevo se reduce a 0.65, lo que refleja una mejora en la estabilidad dinámica.

 Altura de ola de 1.5 m: En condiciones de mar más agitado, el blindaje antiguo presenta una amplitud de 0.95, mientras que el blindaje nuevo logra reducir este valor a 0.8. Esto evidencia una mayor eficiencia en la mitigación de las respuestas dinámicas, incluso en escenarios exigentes.

El análisis del **CG Spectra** demuestra que el blindaje nuevo no solo mejora la estabilidad dinámica de la embarcación, sino que también reduce significativamente las amplitudes de movimiento frente a diferentes alturas de ola. Esto contribuye a una navegación más cómoda y segura, especialmente en condiciones de mar moderado y agitado.

VI. Análisis de la posibilidad de "Porpoising" en la lancha Amazonas Se llevó a cabo un análisis para evaluar el comportamiento dinámico de la lancha *Amazonas* bajo diferentes configuraciones de blindaje, utilizando el modelo propuesto por Savitsky (1964). Este modelo permite determinar la estabilidad dinámica en embarcaciones planeadoras en función de parámetros como el coeficiente de sustentación (C_L) y el ángulo de trimado (τ).

1. Comparación del asiento dinámico para los sistemas de blindaje antiguo y nuevo

El análisis del asiento dinámico para las lanchas "Amazonas" se realizó utilizando el software Maxsurf Resistance, aplicando el modelo semiempírico de Savitsky (1964). Este estudio permitió comparar el comportamiento del ángulo de trimado en función de la velocidad para las configuraciones con el blindaje antiguo y el nuevo.

En la Figura 22 se compara las configuraciones. Se observa que el nuevo sistema de blindaje reduce el ángulo de asiento dinámico en todas las

velocidades analizadas, lo cual indica mejoras significativas en la estabilidad longitudinal y la eficiencia hidrodinámica de la embarcación.



Figura 22. Comparación del asiento dinamico entre el blindaje antiguo y nuevo Fuente: Savitsky (1964). Hydrodynamic Design of Planing Hulls.

A continuación, se presentan las Tabla 5 y Tabla 6 con los datos de entra para la estimación de si ocurre el efecto Porpoising, tanto para la condición con el blindaje antiguo como la condición con el blindaje nuevo.

 Tabla 5. Parámetros principales de la embarcación con el sistema de blindaje antiguo.

Parámetro	Valor
Eslora de flotación (L)	6.615
Manga de flotación (B)	2.174
Calado (T)	0.694
Volumen de desplazamiento (V_disp)	4.71
Velocidad (V)	36 nudos
Ángulo de trimado (τ)	5°
Centro de gravedad (LCG)	4.529 m desde proa
Peso total (W)	47,360.23 N

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

Tabla 6. Parámetros principales de la embarcación con el sistema de blindaje nuevo.

Parámetro	Valor
Eslora de flotación (L)	6.542
Manga de flotación (B)	2.161
Calado (T)	0.666
Volumen de desplazamiento (V_disp)	4.335
Velocidad (V)	38 nudos
Ángulo de trimado (τ)	4.53°
Centro de gravedad (LCG)	4.526 m desde proa
Peso total (W)	43,589.51 N

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Maxsurf.

De acuerdo con el modelo de Savitsky (1964), para establecer que la embarcación opera en un régimen de **planeo estable**, (StablePlaningStable PlaningStablePlaning). Se considera la Figura 23, en la que, se establece en base al "asiento dinámico" y al "coeficiente de sustentación" si la embarcación a cierta velocidad puede o no incurrir en el fenómeno de "Porpoising"



Figura 23. Límites de estabilidad dinámica y régimen de planeo estable para embarcaciones planeadoras.

Fuente: Savitsky (1964). Hydrodynamic Design of Planing Hulls.

En ambos casos, el rango de velocidad analizado corresponde entre 9 y 40 nudos en donde la máxima velocidad posible dada por un miembro del Comando de Infantería de Jambelí fue de 36 nudos cuando los motores fuera de borda operan aproximadamente a 5000 RPM. Esto implica que no sería factible incrementar la velocidad en estas configuraciones debido a limitaciones inherentes al sistema de propulsión.

A continuación se presenta la gráfica para determinar si la lancha Amazonas incurre o no en "Porpoising" con el blindaje antiguo y nuevo:


Figura 24. Gráfica de Límite de Porpoising tanto para el blindaje antiguo con el nuevo con β = 28

De acuerdo con la Figura 24, podemos decir que el blindaje antiguo como el blindaje nuevo cruzan el límite de porpoising, superando la frontera teórica de β =20° en el rango crítico de velocidades (15 a 20 nudos). Sin embargo, el blindaje nuevo presenta un ángulo de trimado máximo menor (**9.5**° frente a **10.5**° del blindaje antiguo) y logra estabilizarse más rápidamente a velocidades altas, reduciendo la severidad del porpoising.

En contraste, el blindaje antiguo no solo alcanza valores mayores de trimado, sino que también tarda más en recuperar la estabilidad, indicando un mayor riesgo de inestabilidad dinámica. Esto refuerza que, aunque el blindaje nuevo no elimina por completo el fenómeno, sí mejora el comportamiento hidrodinámico de la embarcación.

3.3. Viabilidad económica

El análisis de costos incluye una comparación entre el blindaje actual y el material recomendado (UHMWPE), considerando el área total de 12 m² requerida para proteger las lanchas "Amazonas".

3.3.1. Sistema de blindaje antiguo (fibra + resina + cerámica balística)

El sistema de blindaje tradicional está compuesto por un laminado de fibra y resina con un espesor de **1.8 cm**, alternando capas de **mat de 450 g/m² y roving de 800 g/m²**, complementado con una capa de **cerámica balística de 1 cm**. Los costos estimados por metro cuadrado de este sistema son los siguientes:

I. Materiales (fibra + resina + cerámica balística)

El proceso de fabricación requiere materiales específicos que garantizan un desempeño óptimo. **En la Tabla 7**, se detallan los costos estimados por metro cuadrado de este sistema:

Material	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
MDF (láminas)	4	35	140
Cera desmoldante	8 aplicaciones	3	24
Alcohol polivinílico	8 aplicaciones	3	24
Mat de fibra	59.4 kg	2.73/kg	162.26
Roving	59.4 kg	3.30/kg	196.02
Resina	59.4 kg	4/kg	237.6
Cerámica balística	12 m²	1000/m²	12,000
Total materiales			12,783.88

Tabla 7. Tabla de materiales utilizados para la construcción del sistema de blindaje a	antiguo
--	---------

Fuente: Elaboración propio

II. Mano de obra (fibra + resina + cerámica balística)

El proceso de fabricación y ensamblaje requiere la participación de dos maestros y dos ayudantes. La estimación de mano de obra es la siguiente. **Ver Tabla 8.**:

Tabla 8. Tabla costos de mano de obra para la construcción de placa balística antigua

Tarea	Duración	Costo por día (USD)	Costo total (USD)
Preparación de moldes	2 días	\$140.00	\$280.00
Laminado	4 días	\$140.00	\$560.00
Pegado de cerámica	2 días	\$140.00	\$280.00
Total mano de obra			\$1,120.00

Fuente: Elaboración propia.

III. Instalación (fibra + resina + cerámica balística)

La instalación de las placas en la embarcación implica trabajos de soldadura, materiales adicionales y mano de obra. La estimación es la siguiente. Ver Tabla 9:

Tabla 9. Tabla costos de mano de obra para la instalación del sistema de blindaje antiguo

Concepto	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Soldador especializado	2 días	\$80.00/día	\$160.00
Ayudante	2 días	\$30.00/día	\$60.00
Soldadura de aluminio	2 libras	\$15.00/libra	\$30.00
Total instalación			\$250.00

Fuente: Elaboración propia

IV. Costo total del blindaje antiguo (fibra + resina + cerámica balística)

El costo total para la fabricación e instalación del sistema de blindaje antiguo es el siguiente. **Ver Tabla 10**:

Tabla 10. Tabla costos totales sistema de blindaje antiguo

Concepto	Costo total (USD)
Materiales	\$12,558.61
Mano de obra	\$1,120.00
Instalación	\$250.00
Costo total	\$13,928.61

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Sistema de blindaje nuevo (UHMWPE):

El sistema propuesto utiliza polietileno de ultra alto peso molecular con un espesor de 3 cm, diseñado para resistir munición de calibre 7.62. Los costos asociados al sistema son los siguientes:

I. Materiales (UHMWPE):

El costo total estimado de los materiales para cubrir los 12 m² necesarios es el siguiente. Ver Tabla 11:

Tabla 11. Tabla de materiales utilizados para la construcción del sistema de blindaje nuevo

Material	Cantidad requerida	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
UHMWPE (3 cm de espesor)	12 m²	\$1,800.00/m²	\$21,600.00
Total materiales			\$21,600.00

Fuente: Elaboración propia

II. Mano de obra (UHMWPE):

La instalación de las placas de UHMWPE en la embarcación requiere una preparación mínima, ya que las placas no necesitan procesos complejos de laminado. Sin embargo, sigue siendo necesario el trabajo de instalación especializado. Se estima lo siguiente. Ver Tabla 12:

Tabla 12.	Tabla	costos d	le mano	de	obra	para	la	construcción	de	placa	balística	nuevo
-----------	-------	----------	---------	----	------	------	----	--------------	----	-------	-----------	-------

Tarea	Duración	Costo por día (USD)	Costo total (USD)
Preparación e instalación	2 días	\$140.00	\$280.00
Total mano de obra			\$280.00

Fuente: Elaboración propia

III. Instalación (UHMWPE):

La instalación de las placas en la embarcación incluye trabajos de soldadura, materiales adicionales y mano de obra. Estos costos son similares a los del blindaje antiguo, debido a la necesidad de fijar las placas de forma adecuada. La estimación es la siguiente. Ver Tabla 13:

Tabla 13. Tabla costos de mano de obra para la instalación del sistema de blindaje nuevo

Concepto	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Soldador especializado	2 días	\$80.00/día	\$160.00
Ayudante	2 días	\$30.00/día	\$60.00
Soldadura de aluminio	2 libras	\$15.00/libra	\$30.00
Total instalación			\$250.00

Fuente: Elaboración propia

IV. Costo total del blindaje nuevo

El costo total para la fabricación e instalación del sistema de blindaje nuevo es el siguiente. Ver Tabla 14:

Tabla 14. Tabla costos totales sistema de blindaje antiguo

Concepto	Costo total (USD)
Materiales	\$21,600.00
Mano de obra	\$280.00
Instalación	\$250.00
Costo total	\$22,130.00

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Comparación de costos

La Tabla 15, resume los costos totales de ambos sistemas, considerando un área de 12 m²:

Tabla 15. Resumen de comparación de costos de elaboración e instalación de sistemabalístico, blindaje antiguo – blindaje nuevo.

Sistema	Costo por m ² (USD)	Costo total (USD)	
Blindaje antiguo	\$1,160.72	\$13,928.61	
UHMWPE (blindaje nuevo)	\$1,844.17	\$22,130.00	

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Ahorros por consumo de combustible

El ahorro en el consumo de combustible se calcula en función de la reducción de peso del blindaje y su impacto en la potencia requerida para mantener una velocidad constante. Para realizar esta estimación, se consideró una velocidad promedio de operación de 25 nudos.

I. Curva de consumo de combustible versus RPM de motor de 200 hp

La curva base corresponde al motor fuera de borda de **70 HP de 2T marca Yamaha**, y el método utilizado para aproximar la nueva curva de consumo de combustible versus RPM para el motor de **200 HP de 2T** se basa en la **"Estimación de Potencia y Ajuste Exponencial"**.

Este enfoque considera que el consumo de combustible de motores de características similares escala en función de la relación de potencia, ajustado por un exponente empírico (n). Según Heywood (1988), el consumo de combustible no escala linealmente con la potencia debido a diferencias en la eficiencia volumétrica y térmica de los motores. Además, se utilizó el manual técnico de Yamaha Motor Corporation como referencia para corroborar los datos reales del motor objetivo.

En este caso, se utilizó un valor de n =1 .23, ya que este exponente asegura que el consumo máximo del motor de **200 HP** alcance los **81 L/h**, de acuerdo con las especificaciones **técnicas** del fabricante. A continuación, se presenta la gráfica correspondiente en la Figura 25:



Figura 25. Curva de consumo de combustible (L/h) en función de las RPM para motores fuera de borda Yamaha de 70 HP y 200 HP de 2T. *Fuente:* Elaboración propia.

II. Ahorro estimado anual de combustible comparando con los dos blindajes el antiguo y nuevo

El consumo de combustible se analizó considerando los datos operativos proporcionados por la Armada, donde cada motor consume en promedio **17** gal/h, lo que equivale a un consumo total de **34 gal/h** o **128.69 L/h** para los dos motores juntos en condiciones típicas de operación con el blindaje antiguo.

A partir de las potencias requeridas obtenidas de las curvas de Maxsurf Resistance, el consumo estimado para el **blindaje nuevo** se obtuvo con la curva de la Figura 25, ya que este sistema reduce la potencia requerida a **204.24 HP**, en comparación con los **227.55 HP** del blindaje antiguo. El consumo con el blindaje nuevo es de **115.49 L/h** obtenido de la gráfica de la , lo que representa un ahorro de **13.2 L/h** o aproximadamente **10.25%**.

• Con el blindaje antiguo

- 500 horas/año de patrullaje.
- Régimen de operación de 4000 rpm en promedio de los motores:
- Consumo de 128,69 l/h de combustible.
- Costo de combustible por litro de \$ 0,70 USD, gasolia ECO
- Costo inicial \$ 13,918.61 USD.

• Con el blindaje nuevo

- 500 horas/año de patrullaje.
- Régimen de operación de 4000 rpm en promedio de los motores:
- Consumo de 115,49 l/h de combustible,
- Costo de combustible por litro de \$ 0,70 USD, gasolia ECO
- Costo inicial \$ 22,130.00 USD.

Tabla 16. Costo anual de combustibl	e para blindaje nuev	vo y blindaje antiguo
-------------------------------------	----------------------	-----------------------

Descripción	Valor (USD)
Costo de combustible Blindaje viejo	\$45,041.50
Costo de combustible Blindaje nuevo	\$40,421.50
Ahorro anual total	\$4,620.00

Fuente: Elaboración propia

Este ahorro se traduce en una reducción significativa en los costos operativos. En un cálculo anual, considerando un tiempo total de operación de **500 horas al año**, el consumo con el blindaje antiguo es de **64,345 litros**, mientras que con el blindaje nuevo se reduce a **57,745 litros**, lo que genera un ahorro anual de **6,600 litros**. Con un precio promedio del combustible de **0.70 USD/L**, el costo anual de combustible pasa de **\$45,041.50** con el blindaje antiguo a **\$40,421.50** con el blindaje nuevo, generando un ahorro anual total de **\$4,620.00**. Ver Tabla 16

3.3.5. Análisis económico comparativa del blindaje Antiguo y el Nuevo

Este análisis toma en consideración un período proyectado de 10 años, durante el cual se evidencian mejoras significativas derivadas de la adopción del nuevo sistema de blindaje, tanto desde el punto de vista operativo como financiero (ver Tabla 17).

El mantenimiento del blindaje antiguo depende de los daños sufridos durante enfrentamientos en los que su capacidad de protección se ve comprometida. En estas situaciones, la cerámica balística detiene el proyectil, pero pierde su funcionalidad en la zona impactada, lo que requiere reemplazar el área dañada. Según las estimaciones, este tipo de daños ocurre, en promedio, cada tres años, afectando un área aproximada de medio metro cuadrado.

En contraste, el nuevo blindaje se caracteriza por ser prácticamente libre de mantenimiento. Su diseño innovador permite soportar múltiples impactos en la misma área sin necesidad de reemplazar los paneles, gracias a su elevada resistencia estructural. Sin embargo, aunque este escenario es técnicamente posible, es poco probable debido a la naturaleza dinámica de los enfrentamientos.

Año	Costo Mantenimiento Blindaje Antiguo (USD)	Costo Mantenimiento Blindaje Nuevo (USD)	Costo Combustible Blindaje Antiguo (USD)	Costo Combustible Blindaje Nuevo (USD)	Total Blindaje Antiguo (USD)	Total Blindaje Nuevo (USD)
1	\$0.00	\$0.00	\$45,000.00	\$40,421.50	\$45,000.00	\$40,421.50
2	\$0.00	\$0.00	\$45,900.00	\$41,229.93	\$45,900.00	\$41,229.93
3	\$615.88	\$0.00	\$46,818.00	\$42,054.53	\$47,433.88	\$42,054.53
4	\$0.00	\$0.00	\$47,754.00	\$42,895.62	\$47,754.00	\$42,895.62
5	\$0.00	\$2,036.11	\$48,709.45	\$43,753.53	\$48,709.45	\$45,789.64
6	\$653.58	\$0.00	\$49,683.64	\$44,628.60	\$50,337.21	\$44,628.60
7	\$0.00	\$0.00	\$50,677.31	\$45,521.17	\$50,677.31	\$45,521.17
8	\$0.00	\$0.00	\$51,690.86	\$46,431.60	\$51,690.86	\$46,431.60
9	\$693.58	\$0.00	\$52,724.67	\$47,360.23	\$53,418.25	\$47,360.23
10	\$0.00	\$2,248.03	\$53,779.17	\$48,307.43	\$53,779.17	\$50,555.46
TOTAL	\$1,963.04	\$4,284.14	\$494,700.49	\$446,888.29	\$494,700.49	\$446,888.29

Tabla 17. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo y blindajenuevo a lo largo de 10 años

Fuente: Elaboración propia

Aunque el nuevo blindaje no requiere mantenimiento rutinario debido a su diseño resistente, se ha considerado un mantenimiento preventivo cada cinco años como medida de seguridad para garantizar su óptimo desempeño a lo largo del tiempo.

Los costos asociados a este mantenimiento son mínimos en comparación con los del blindaje antiguo, que requiere reparaciones frecuentes debido a su incapacidad para soportar múltiples impactos en la misma área.

Además, la reducción en el consumo de combustible gracias al menor peso del nuevo blindaje contribuye significativamente a la disminución de los costos totales a lo largo de los diez años analizados.

Para este análisis, se tomó en consideración una tasa de inflación anual promedio del 1,87% en Ecuador, según datos de Statista (2024).

3.3.6. Comparación del Valor Neto Actual (VNA) entre el blindaje antiguo y nuevo en el período de 10 años.

El análisis financiero del Valor Neto Actual (VNA) para los sistemas de blindaje antiguo y nuevo se realizó considerando un período proyectado de **10 años** y una tasa de descuento del **6%**, basada en los intereses promedio de los bonos cupón.

El cálculo del VNA considera los costos anuales de combustible, los costos asociados al mantenimiento preventivo o correctivo, y los valores de inversión inicial. Los resultados obtenidos están en la Tabla 18:

Tabla 18. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo y blindajenuevo a lo largo de 10 años

Blindaje	Valor Neto Actual (USD)
Blindaje antiguo	\$-374,551.86
Blindaje nuevo	\$-348,842.58

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores evidencian que el blindaje nuevo representa una alternativa más económica a largo plazo, al generar un ahorro acumulado significativo en comparación con el blindaje antiguo. Esto se debe tanto a su menor consumo de combustible como a su casi nulo requerimiento de mantenimiento, lo que refuerza la viabilidad económica de su implementación.

3.3.7. Análisis de costos uniformes anuales del Blindaje Antiguo y Nuevo

En el análisis financiero de los sistemas de blindaje, es fundamental evaluar los costos asociados a lo largo del tiempo, considerando tanto los costos iniciales como los flujos de caja periódicos relacionados con el consumo de combustible y el mantenimiento. Para este propósito, se utiliza el método de cálculo de anualidades uniformes, que permite distribuir de manera homogénea los costos a lo largo del período de análisis.

Este enfoque proporciona una visión clara y comparable de los pagos periódicos necesarios para cada sistema de blindaje, permitiendo tomar decisiones informadas sobre la viabilidad económica a largo plazo. A continuación se presentan los siguientes resultados:

Tabla 19. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo yblindaje nuevo a lo largo de 10 año

Blindaje	Costo Anual Uniforme (USD)	
Blindaje Antiguo	\$50,889.60	
Blindaje Nuevo	\$47,396.53	

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los costos anuales uniformes evidencia que el blindaje nuevo, con un costo de **\$47,396.53 USD**, es más económico que el blindaje antiguo, cuyo costo asciende a **\$50,889.60 USD**, generando un ahorro anual de aproximadamente **\$3,493.07 USD**.

Este ahorro refleja tanto la disminución en el consumo de combustible como los menores costos de mantenimiento del blindaje nuevo, lo que refuerza su viabilidad económica y operativa en un horizonte de **10 años**. La implementación del blindaje nuevo representa una opción más eficiente y sostenible a largo plazo.

Año	Blindaje Antiguo (USD)	Blindaje Nuevo (USD)	Diferencia (USD)
0	\$-22,130.00	\$-13,928.61	\$-8,201.39
1	\$-40,421.00	\$-45,000.00	\$4,579.00
2	\$-41,229.42	\$-45,900.00	\$4,670.60
3	\$-42,054.01	\$-47,433.90	\$5,379.90
4	\$-42,895.09	\$-47,754.40	\$4,859.30
5	\$-45,788.99	\$-48,709.40	\$2,920.50
6	\$-44,628.05	\$-50,337.20	\$5,709.20
7	\$-45,520.61	\$-50,677.30	\$5,156.70
8	\$-46,431.02	\$-51,690.90	\$5,259.80
9	\$-47,359.64	\$-52,724.70	\$5,365.00
10	\$-52,802.65	\$-53,779.20	\$976.50

Tabla 20. Cuadro de análisis comparativo de costos totales entre blindaje antiguo yblindaje nuevo a lo largo de 10 año

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 20 muestra los flujos de caja anuales proyectados para los sistemas de blindaje antiguo y nuevo durante un período de 10 años. En el año 0 se reflejan las inversiones iniciales requeridas para cada sistema, donde el blindaje antiguo tiene un costo de **\$22,130 USD**, mientras que el blindaje nuevo requiere una inversión inicial de **\$13,928.61 USD**.

A partir del año 1, se presentan los costos anuales, que incluyen gastos de mantenimiento y consumo de combustible, junto con la columna "Diferencia",

que indica los ahorros o sobrecostos generados por el blindaje nuevo respecto al antiguo en cada período.

La columna de "Diferencia" permite evaluar el impacto económico del cambio de blindaje, mostrando que el nuevo sistema genera ahorros significativos en la mayoría de los años analizados. Estos flujos positivos son esenciales para calcular la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, que mide la rentabilidad de la inversión en el nuevo blindaje en comparación con el antiguo.

3.3.8. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) para el Blindaje Nuevo

Después de examinar los flujos de caja anuales de los sistemas de blindaje antiguo y nuevo, se realiza el cálculo de la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**. Este indicador financiero es esencial para medir la rentabilidad de la inversión en el blindaje nuevo, ya que establece la tasa de descuento que iguala los flujos netos de efectivo al monto inicial invertido. La TIR proporciona una base sólida para comparar la eficiencia económica de ambos sistemas y determinar cuál ofrece mayores beneficios a lo largo del horizonte analizado.

Tabla 21. Tasa Interna de Retorno (TIR) del blindaje nuevo

Indicador	Valor
TIR	57%

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 21, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del blindaje nuevo es del **57%**, lo que refleja una alta rentabilidad de la inversión inicial. Este resultado indica que el blindaje nuevo no solo genera ahorros significativos a lo largo del período de análisis, sino que también representa una alternativa económicamente viable frente al blindaje antiguo.

3.3.9. Resultados de pruebas balísticas a placa de UHMWPE

Con el fin de evaluar el desempeño balístico del polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) propuesto como material de blindaje, se llevaron a cabo dos pruebas experimentales. Estas pruebas tenían como objetivo comprobar la resistencia del material frente a impactos de munición y analizar la respuesta del material bajo condiciones balísticas. Ver Figura 26



Figura 26. Probetas de UHMWPE, fusil de asalto con munición 5,56 mm

I. Prueba 1: Probeta de 30x30 cm y 30 mm de espesor

Se realizaron cinco disparos con munición 5.56 mm consecutivos sobre una probeta de dimensiones 30x30 cm y un espesor de 30 mm. Los resultados fueron los siguientes:

- Ninguno de los proyectiles logró atravesar la probeta.
- En la parte posterior de la probeta, se observó una deformación localizada con una altura aproximada de 15 mm. Ver Figura 27.



Figura 27. Probeta con 5 tiros en la parte frontal y deformación en la parte posterior – probeta 30x30 cm con espesor de 30 mm *Fuente:* Elaboración propia

II. Prueba 2: Probeta de 30x25 cm y 28 mm de espesor

En la segunda prueba, se utilizó una probeta de dimensiones 30x25 cm y un espesor de 28 mm. Se efectuaron cinco disparos consecutivos bajo las mismas condiciones de prueba que en el primer caso. Los resultados fueron similares:

• Ninguno de los proyectiles perforó el material.

Se observó una deformación posterior con características comparables a la de la primera probeta, con una altura aproximada de 15 mm. Ve Figura 28.



Figura 28. Probeta con 5 tiros en la parte frontal y deformación en la parte posterior – probeta 30x25 cm con espesor de 28 mm Fuente: Elaboración propia

1. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos demuestran que el UHMWPE cumple con los requerimientos balísticos esperados, logrando detener los proyectiles sin permitir la penetración del material. Aunque se observó una deformación posterior, esta es consistente con las propiedades de absorción de energía del material y no compromete su integridad estructural.

Estas pruebas validan la capacidad del UHMWPE para resistir impactos balísticos y refuerzan su viabilidad como material de blindaje para las lanchas "Amazonas".

CAPITULO 4

4.1. Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1. Conclusiones

Con base en los análisis realizados y los resultados obtenidos durante este estudio, se presentan las siguientes conclusiones:

I. Reducción de peso y mejora hidrodinámica:

El reemplazo del blindaje balístico actual por polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) representa una solución técnica y económica viable, al reducir el peso total en un 46%, lo que mejora la velocidad máxima en 3 nudos y reduce el consumo de combustible.

II. Eficiencia energética y ahorro de combustible:

La menor resistencia hidrodinámica obtenida con el blindaje nuevo reduce el consumo de combustible en un 10.25%, representando un ahorro anual estimado de \$4,620.00 USD por embarcación, con base en 500 horas de operación anual y un precio promedio de \$0.70 USD/L de la gasolina ECO en Ecuador.

III. Análisis dinámico y reducción del porpoising:

Las simulaciones hidrodinámicas indicaron que la disminución de peso en las lanchas con el UHMWPE modifica las curvas de estabilidad dinámica y eleva el límite crítico del porpoising, permitiendo operar de forma segura a mayores velocidades sin comprometer el rendimiento. Esto mejora la seguridad operativa y la capacidad de respuesta de las embarcaciones.

IV. Pruebas balísticas y seguridad:

El UHMWPE mostró una alta efectividad frente a municiones de calibre 7.62 mm, superando el desempeño del blindaje antiguo que falló en las pruebas

balísticas. Esto, junto con su resistencia a la corrosión y agentes químicos, garantiza una protección confiable y una mayor durabilidad en condiciones marítimas exigentes.

V. Viabilidad económica y operativa:

Aunque el costo inicial del UHMWPE es superior al blindaje actual, los ahorros en combustible (10.25% anual, equivalentes a \$4,620 USD) y los menores requerimientos de mantenimiento hacen que el sistema sea financieramente sostenible. Un análisis del valor presente neto (VPN) muestra que la inversión inicial se recupera gracias a los ahorros operativos en menos de 5 años, asegurando rentabilidad a largo plazo.

VI. Durabilidad y resistencia en entornos marinos:

La resistencia del UHMWPE a la corrosión y agentes químicos asegura una vida útil estimada de 25 años, lo que reduce significativamente los costos de mantenimiento en comparación con el blindaje actual. Esta durabilidad refuerza la viabilidad económica al disminuir costos operativos recurrentes.

VII. Contribución a la sostenibilidad operativa:

El ahorro en combustible, combinado con la mejora en maniobrabilidad y eficiencia, fortalece las capacidades operativas del Comando de Infantería de Marina, permitiendo un uso más racional y sostenible de los recursos.

4.1.2. Recomendaciones

I. Validación en Campo:

- Realizar pruebas dinámicas en condiciones reales para confirmar los resultados obtenidos mediante simulaciones.
- Evaluar el desempeño del blindaje en escenarios operativos extremos (velocidades máximas en mares agitados).

II. Optimización del blindaje:

- Considerar el uso de combinaciones de materiales (por ejemplo, UHMWPE con kevlar) para mejorar en la resistencia a temperaturas extremas.
- III. Pruebas de mar en diferentes condiciones de carga: Realizar pruebas de mar con variaciones en las condiciones de carga para generar curvas precisas de velocidad vs. RPM y consumo real de combustible vs. RPM. Además, estas pruebas permitirán verificar si la embarcación ingresa en condiciones de porpoising y determinar los límites operativos seguros.

IV. Documentación y Seguimiento:

- Crear un registro de mantenimiento específico para las embarcaciones con el nuevo blindaje, documentando reparaciones, costos y desempeño operativo.
- Compartir los resultados con las instituciones interesadas para fomentar la adopción de este tipo de soluciones en otras embarcaciones militares o comerciales.

La implementación del blindaje de UHMWPE no solo representa un avance técnico significativo, sino también una oportunidad para mejorar la sostenibilidad operativa de las lanchas 'Amazonas'. Los resultados obtenidos confirman su viabilidad técnica y económica, estableciendo un precedente para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito marítimo.

BIBLIOGRAFIA

- Autodesk. (2025). AutoCAD: Computer-aided design software [Software]. Recuperado de https://www.autodesk.com/products/autocad/
- Bentley Systems. (s.f.). *Maxsurf: software para el diseño de embarcaciones marinas*. Recuperado de https://es-la.bentley.com/software/maxsurf/
- Blount, D., & Codega, W. (1992). A Rational Approach to Evaluating and Avoiding Porpoising in Planing Hulls. Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- DuPont. (n.d.). Fabrics, fibers and nonwovens: Adhesives, sealants, coatingsDuPonthttps://www.dupont.com/fabrics-fibers-andnonwovens/adhesives-sealants-coatings.html
- Faltinsen, O. M. (2005). Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles.
 Cambridge University Press.
- Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Education.
- Ikeda, Y., & Katayama, T. (2000). *Dynamic Stability of High-Speed Craft*. Marine Technology Society Journal, 34(2), 35-43.
- Lewis, E. V. (1988). Principles of Naval Architecture: Volume II Resistance, Propulsion and Vibration. Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Mouritz, A. P., & Bannister, M. K. (2015). Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection. Woodhead Publishing.
- National Institute of Justice. (2008). Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06. Washington, DC: U.S. Department of Justice. Recuperado de https://nij.ojp.gov/library/publications/ballistic-resistance-bodyarmor-nij-standard-010106
- Racc Steel. (s.f.). Aceros Balísticos. Recuperado de https://steelr.com/productos/aceros-balisticos/

- Robert McNeel & Associates. (2025). *Rhinoceros: Versatile 3D modeling* software. Recuperado de https://www.rhino3d.com/
- Savage, C. (1993). Advanced Composite Materials for Marine Applications. Marine Technology Society Journal, 27(3), 45-54.
- Savitsky, D. (1964). "Hydrodynamic Design of Planing Hulls." *Marine Technology*, 1(1), 71-95.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2014). *Engineering Economy* (15th ed.). Pearson.
- Troesch, A. W., & Falzarano, J. M. (1993). *Stability and Dynamics of High-Speed Marine Vehicles*. Marine Technology, 30(2), 95-112.
- Wikipedia. (n.d.). Gasolina. Recuperado de <u>https://es.wikipedia.org/wiki/Gasolina</u>
- Wolfe, D. (2015). *Performance Characteristics of Advanced Polymers in Ballistic Applications*. Journal of Polymer Science, 53(8), 1234-1242.
- Yamaha Motor Corporation. (n.d.). 200AETX Outboard Motor Specifications. Recuperado de https://yamahanic.com/tienda/2-tiempos-200aetx

ANEXOS

ANEXOS A. Resultados de simulacionesen Maxsuf Resistance para el blindaje antiguo. En esta sección se muestran los resultados para la embarcación con el blindaje antiguo

Potencia vs Velocidad			
	Velocidad	Potencia	
Items	KN	Нр	
1	9,00	75,32	
2	10,00	90,64	
3	11,00	107,48	
4	12,00	125,20	
5	13,00	142,88	
6	14,00	159,60	
7	15,00	174,75	
8	16,00	188,12	
9	17,00	199,79	
10	18,00	210,04	
11	19,00	219,19	
12	20,00	227,55	
13	21,00	235,41	
14	22,00	242,98	
15	23,00	250,48	
16	24,00	258,05	
17	25,00	265,82	
18	26,00	273,90	
19	27,00	282,38	
20	28,00	291,34	
21	29,00	300,83	
22	30,00	310,90	
23	31,00	321,61	
24	32,00	333,00	
25	33,00	345,09	
26	34,00	357,93	
27	35,00	371,54	
28	36,00	385,96	
29	37,00	401,20	
30	38,00	417,30	
31	39,00	434,27	
32	40,00	452,14	

 Tabla A.1. Resultados de Potencia-Velocidad con el blindaje antiguo

Resistencia vs Velocidad			
	Velocidad	Resistencia	
Items	KN	kN	
1	9.00	6.70	
2	10.00	7.20	
3	11.00	7.80	
4	12.00	8.30	
5	13.00	8.80	
6	14,00	9,10	
7	15,00	9,30	
8	16,00	9,40	
9	17,00	9,40	
10	18,00	9,30	
11	19,00	9,20	
12	20,00	9,10	
13	21,00	8,90	
14	22,00	8,80	
15	23,00	8,70	
16	24,00	8,60	
17	25,00	8,50	
18	26,00	8,40	
19	27,00	8,30	
20	28,00	8,30	
21	29,00	8,30	
22	30,00	8,30	
23	31,00	8,30	
24	32,00	8,30	
25	33,00	8,30	
26	34,00	8,40	
27	35,00	8,50	
28	36,00	8,50	
29	37,00	8,60	
30	38,00	8,80	
31	39,00	8,90	
32	40,00	9,00	

Tabla A.2. Resultados de Resistencia-Velocidad con el blindaje antiguo

	Velocidad	TRIM
Items	KN	deg
1	9,00	7,40
2	9,50	7,67
3	10,00	7,96
4	10,50	8,24
5	11,00	8,53
6	11,50	8,80
/	12,00	9,06
8	12,50	9,29
9	13,00	9,49
10	13,50	9,65
11	14,00	9,78
12	14,50	9,86
13	15,00	9,91
14	15,50	9,92
15	16,00	9,90
16	16,50	9,85
1/	17,00	9,78
18	17,50	9,68
19	18,00	9,57
20	10,00	9,45
21	10.50	9,31
22	19,50	9,17
23	20,00	9,02
24	20,50	8,86
25	21,00	8,71
26	21,50	8,55
27	22,00	8,39
28	22,50	8,23
29	23,00	8,08
30	23,50	7,92
31	24,00	7,77
32	24,50	7,62
33	25,00	7,47
34	25,50	7,33
36	26,00	7,18
30	20,50	6.91
38	27,50	6.78
39	28.00	6,65
40	28,50	6.53
40	29,00	6.41
42	29.50	6 29
43	30.00	6 1 8
44	30.50	6,06
45	31.00	5.96
46	31.50	5.85
47	32.00	5.75
48	32,50	5,65
49	33,00	5,55
50	33.50	5.46
51	34,00	5,37
52	34.50	5,28
53	35.00	5,20
54	35,50	5,11
55	36,00	5,03
56	36,50	4,95
57	37,00	4,88
58	37,50	4,80
59	38,00	4,73
60	38,50	4,66
61	39,00	4,59
62	39,50	4,53
63	40,00	4,46

Tabla A.3. Resultados de Angulo trimado-Velocidad con el blindaje antiguo

		Coeficiente
	Velocidad	de resistencia
Items	KN	Total x 1000
1	9,00	36,00
2	9,50	33,63
3	10,00	31,58
4	10,50	29,77
5	11,00	28,13
6	11,50	26,64
7	12,00	25,24
8	12,50	23,92
9	13,00	22,66
10	13,50	21,44
11	14,00	20,26
12	14,50	19,13
13	15,00	18,04
14	15,50	17,00
15	16,00	16,00
16	16,50	15,06
17	17,00	14,17
18	17,50	13,33
19	18,00	12,55
20	18,50	11,82
21	19,00	11,13
22	19,50	10,50
23	20,00	9,91
24	20,50	9,36
25	21,00	8,86
26	21,50	8,39
27	22,00	7,95
28	22,50	7,55
29	23,00	7,17
30	23,50	6.83
31	24.00	6.50
32	24.50	6.20
33	25.00	5.93
34	25.50	5.67
35	26.00	5.43
36	26.50	5.21
37	27.00	5.00
38	27.50	4.80
39	28.00	4.62
40	28.50	4.46
41	29.00	4.30
42	29.50	4.15
43	30.00	4.01
44	30.50	3,88
45	31.00	3,76
46	31.50	3,65
47	32.00	3.54
48	32,50	3.44
49	33.00	3.35
50	33.50	3.26
51	34.00	3 17
52	34.50	3.09
52	35.00	3,03
54	35,00	2.02
54	35,50	2,90
55	36,00	2,88
50	36,50	2,82
5/	37,00	2,76
58	37,50 2,70	
59	38,00	2,65
60	38,50	2,60
61	39,00	2,55
62	39,50	2,50
63	40,00	2,46

Tabla A.3. Resultados de Coef. Total de resistencia-Velocidad con el blindaje antiguo

		-
		Coeficiente
	Velocidad	de resistencia
Items	KN	residual x 1000
1	9,00	33,19
2	9,50	30,91
3	10,00	20,94
	11,00	25.66
6	11.50	24,25
7	12.00	22.93
8	12.50	21.68
9	13,00	20,48
10	13,50	19,32
11	14,00	18,20
12	14,50	17,12
13	15,00	16,08
14	15,50	15,07
15	16,00	14,12
16	16,50	13,21
17	17,00	12,35
18	17,50	11,54
19	18,00	10,78
20	18,50	10,07
21	19,00	9,41
22	19,50	8,79
23	20,00	8,22
24	20,50	7,69
25	21,00	7,19
26	21,50	6,74
27	22,00	6,31
28	22,50	5,92
29	23,00	5,55
30	23,50	5,22
31	24,00	4,90
32	24,50	4,61
34	25,00	4,34
35	26,00	3.86
36	26,50	3.65
37	27.00	3.44
38	27,50	3.26
39	28.00	3,08
40	28,50	2,92
41	29,00	2,77
42	29,50	2,62
43	30,00	2,49
44	30,50	2,37
45	31,00	2,25
46	31,50	2,14
47	32,00	2,04
48	32,50	1,94
49	33,00	1,85
50	33,50	1,76
51	34,00	1,68
52	34,50	1,61
53	35,00	1,54
54	35,50	1,47
55	36,00	1,41
57	30,50	1,35
5/	37,00	1,29
50	38.00	1,24
60	38.50	1,19
61	39.00	1,14
62	39.50	1,05
63	40.00	1,00
- 35	40,00	1,01

Tabla A.4. Resultados de Coef. Residual de resistencia-Velocidad con el blindaje antiguo

		Coeficiente
	Velocidad	de resistencia
Items	KN	Friccional x 1000
2	9,00	2,42
2	9,50	2,35
3	10,00	2,27
	11,50	2,20
6	11,50	2,15
7	12.00	1.99
8	12,50	1.93
9	13,00	1,87
10	13,50	1,82
11	14,00	1,77
12	14,50	1,73
13	15,00	1,69
14	15,50	1,65
15	16,00	1,62
16	16,50	1,59
17	17,00	1,56
18	17,50	1,54
19	18,00	1,52
20	18,50	1,50
21	19,00	1,48
22	19,50	1,47
23	20,00	1,45
24	20,50	1,44
25	21,00	1,42
26	21,50	1,41
27	22,00	1,40
28	22,50	1,39
29	23,00	1,38
30	23,50	1,37
31	24,00	1,37
32	24,50	1,30
34	25,00	1,35
35	25,50	1,34
36	26,00	1,34
37	27.00	1,33
38	27.50	1.32
39	28.00	1.31
40	28,50	1.31
41	29,00	1,30
42	29,50	1,30
43	30,00	1,29
44	30,50	1,29
45	31,00	1,29
46	31,50	1,28
47	32,00	1,28
48	32,50	1,27
49	33,00	1,27
50	33,50	1,27
51	34,00	1,26
52	34,50	1,26
53	35,00	1,26
54	35,50	1,25
55	36,00	1,25
56	36,50	1,25
5/	37,00	1,24
50	37,50	1,24
60	38.50	1,24
61	39.00	1,29
62	39.50	1,23
63	40.00	1,23

Tabla A.5. Resultados de Coef. de Resistencia Friccional-Velocidad con el blindaje antiguo

	Malaaldad	Contininate
Iterre	Velocidad	Coeficiente
Items	KN 0.00	de correlación x 1000
2	9,00	0,38
2	3,50	0,37
3	10,00	0,35
	11,50	0,35
5	11,00	0.34
7	12.00	0,33
2	12,00	0.31
0	12,50	0,31
3	13,00	0,30
10	13,50	0,30
12	14,00	0,29
12	14,50	0,28
13	15,00	0,28
14	15,50	0,27
15	16,00	0,27
16	16,50	0,26
1/	17,00	0,26
18	17,50	0,25
19	18,00	0,25
20	18,50	0,25
21	19,00	0,25
22	19,50	0,24
23	20,00	0,24
24	20,50	0,24
25	21,00	0,24
26	21,50	0,24
27	22,00	0,24
28	22,50	0,24
29	23,00	0,23
30	23,50	0,23
31	24,00	0,23
32	24,50	0,23
33	25,00	0,23
34	25,50	0,23
35	26,00	0,23
36	26,50	0,23
37	27,00	0,23
38	27,50	0,23
39	28,00	0,23
40	28,50	0,23
41	29,00	0,23
42	29,50	0,23
43	30,00	0,23
44	30,50	0,23
45	31,00	0,23
46	31,50	0,23
47	32,00	0,23
48	32,50	0,23
49	33,00	0,23
50	33,50	0,23
51	34,00	0,23
52	34,50	0,23
53	35,00	0,22
54	35,50	0,22
55	36,00	0,22
56	36,50	0,22
57	37,00	0,22
58	37,50	0,22
59	38,00	0,22
60	38,50	0,22
61	39,00	0,22
62	39,50	0,22
63	40,00	0,22

Tabla A.6. Resultados de Coef. de Correlación-Velocidad con el blindaje antiguo

ANEXOS B. Resultados de simulacionesen Maxsuf Resistance para el blindaje

nuevo. En esta sección se muestran los resultados para la embarcación con el blindaje nuevo (UHWMPE)

	Velocidad	Potencia
Items	KN	Hp
1	9,00	67,36
2	10,00	81,16
3	11,00	96,31
4	12,00	112,19
5	13,00	127,97
6	14,00	142,85
7	15,00	156,33
8	16,00	168,26
9	17,00	178,74
10	18,00	188,04
11	19,00	196,45
12	20,00	204,24
13	21,00	211,66
14	22,00	218,91
15	23,00	226,16
16	24,00	233,54
17	25,00	241,18
18	26,00	249,17
19	27,00	257,57
20	28,00	266,47
21	29,00	275,90
22	30,00	285,93
23	31,00	296,59
24	32,00	307,93
25	33,00	319,96
26	34,00	332,74
27	35,00	346,27
28	36,00	360,60
29	37,00	375,74
30	38,00	391,72
31	39,00	408,55
32	40,00	426,28

 Tabla B.1. Resultados de Potencia vs Velocidad

	Velocidad	Resistencia
Items	KN	kN
1	9,00	6,00
2	10,00	6,50
3	11,00	7,00
4	12,00	7,50
5	13,00	7,80
6	14,00	8,10
7	15,00	8,30
8	16,00	8,40
9	17,00	8,40
10	18,00	8,30
11	19,00	8,20
12	20,00	8,10
13	21,00	8,00
14	22,00	7,90
15	23,00	7,80
16	24,00	7,80
17	25,00	7,70
18	26,00	7,60
19	27,00	7,60
20	28,00	7,60
21	29,00	7,60
22	30,00	7,60
23	31,00	7,60
24	32,00	7,70
25	33,00	7,70
26	34,00	7,80
27	35,00	7,90
28	36,00	8,00
29	37,00	8,10
30	38,00	8,20
31	39,00	8,40
32	40,00	8,50

Tabla B.2. Resultados de Resistencia vs Velocidad

		TRIM
Itomo	Velocidad	TRIM
1	9.00	1 ueg
2	9,00	7,13
3	10.00	7,67
4	10,50	7,95
5	11.00	8.23
6	11.50	8,49
7	12.00	8.74
8	12,50	8,96
9	13,00	9,14
10	13,50	9,29
11	14,00	9,41
12	14,50	9,48
13	15,00	9,52
14	15,50	9,52
15	16,00	9,50
16	16,50	9,44
17	17,00	9,37
18	17,50	9,27
19	18,00	9,16
20	18,50	9,04
21	19,00	8,91
22	19,50	8,77
23	20,00	8,62
24	20,50	8,47
25	21,00	8,32
26	21,50	8,17
27	22,00	8,02
28	22,50	7,86
29	23,00	7,71
30	23,50	7,37
32	24,00	7,42
33	25.00	7,20
34	25,00	7,13
35	26,00	6,86
36	26.50	6.73
37	27.00	6,60
38	27,50	6,48
39	28,00	6,36
40	28,50	6,24
41	29,00	6,12
42	29,50	6,01
43	30,00	5,90
44	30,50	5,80
45	31,00	5,69
46	31,50	5,59
47	32,00	5,50
48	32,50	5,40
49	33,00	5,31
50	33,50	5,22
51	34,00	5,14
52	34,50	5,05
53	35,00	4,97
54	35,50	4,89
55	36,00	4,82
56	36,50	4,74
57	37,00	4,67
58	37,50	4,60
59	38,00	4,53
60	36,50	4,40
62	39,00	4,40
62	39,50	4,33
03	40,00	4,27

Tabla B.3. Resultados de Angulo trimado-Velocidad con el blindaje nuevo

	1	Continingto
	Valocidad	Coenciente de resistencia
Items	Velocidad	residual x 1000
items	NN 0.00	1000 1000
2	9,00	30,44
2	9,50	26,30
3	10,00	26,57
4	10,50	24,99
5	11,00	23,56
6	11,50	22,26
/	12,00	21,04
8	12,50	19,89
9	13,00	18,78
10	13,50	17,70
11	14,00	16,67
12	14,50	15,66
13	15,00	14,69
14	15,50	13,77
15	16,00	12,88
16	16,50	12,05
17	17,00	11,26
18	17,50	10,51
19	18,00	9,82
20	18,50	9,17
21	19,00	8,56
22	19,50	8,00
23	20,00	7,47
24	20,50	6,99
25	21,00	6,54
26	21,50	6,12
27	22,00	5,74
28	22,50	5,38
29	23,00	5,05
30	23,50	4,74
31	24,00	4,46
32	24,50	4.19
33	25,00	3,95
34	25,50	3,72
35	26,00	3,51
36	26,50	3.31
37	27.00	3.13
38	27,50	2,96
39	28.00	2,80
40	28,50	2.65
41	29.00	2.51
42	29.50	2,39
43	30.00	2,26
44	30.50	2,15
45	31.00	2,05
46	31.50	1.95
47	32.00	1,85
48	32,50	1,00
40	33.00	1.69
50	33.50	1,00
51	34.00	1,01
52	34,00	1,00
52	34,50	1,40
53	35,00	1,40
54	35,50	1,34
55	36,00	1,28
56	36,50	1,23
57	37,00	1,18
58	37,50	1,13
59	38,00	1,08
60	38,50	1,04
61	39,00	1,00
62	39,50	0,96
63	40,00	0,92

		Coeficiente
	Velocidad	de resistencia
Items	KN	Total x 1000
1	9,00	33,30
2	9,50	31,13
3	10,00	29,25
4	10,50	27,58
5	11,00	26,08
6	11,50	24,69
7	12,00	23,40
8	12.50	22.17
9	13.00	20.99
10	13.50	19.86
11	14.00	18,76
12	14,50	17.71
13	15.00	16.69
14	15,00	15,03
14	16,00	14.80
15	16,00	14,00
10	16,50	13,93
1/	17,00	13,11
18	17,50	12,34
19	18,00	11,62
20	18,50	10,95
21	19,00	10,32
22	19,50	9,74
23	20,00	9,20
24	20,50	8,70
25	21,00	8,24
26	21,50	7,81
27	22,00	7,41
28	22,50	7,04
29	23,00	6,70
30	23,50	6,38
31	24,00	6,09
32	24,50	5,82
33	25,00	5,56
34	25,50	5,33
35	26,00	5,11
36	26,50	4,91
37	27,00	4,72
38	27.50	4,54
39	28.00	4.37
40	28,50	4,22
41	29.00	4.08
42	29.50	3,94
42	30.00	3.82
40	30,00	3,02
44	31.00	3.50
40	31,00	3,59
40	31,50	3,48
4/	32,00	3,39
48	32,50	3,29
49	33,00	3,21
50	33,50	3,13
51	34,00	3,05
52	34,50	2,98
53	35,00	2,91
54	35,50	2,85
55	36,00	2,79
56	36,50	2,73
57	37,00	2,67
58	37,50	2,62
59	38,00	2,57
60	38,50	2,53
61	39.00	2,48
62	39.50	2,44
63	40.00	2,40
		_,

Tabla B.3. Resultados de Coef. Resistencia residual versus Velocidad con el blindaje nuevo
		Coeficiente
	Velocidad	de resistencia
Items	KN	Friccional x 1000
1	9,00	2,47
2	9,50	2,39
3	10,00	2,31
4	10,50	2,24
5	11,00	2,16
6	11,50	2,09
7	12,00	2,03
8	12,50	1,97
9	13,00	1,91
10	13,50	1,85
11	14,00	1,80
12	14,50	1,76
13	15,00	1,72
14	15,50	1,68
15	16,00	1,65
10	16,50	1,62
10	17.00	1,39
18	18.00	1,57
19	10,00	1,00
∠U 21	10,00	1,03
21	19,00	1,51
22	20.00	1,49
23	20,00	1,40
24	20,50	1,47
23	21,00	1,45
20	21,50	1,44
29	22,00	1,40
28	22,50	1,42
30	23,00	1,41
31	23,50	1,40
32	24,00	1,00
33	24,50	1,35
34	25,00	1,30
35	26,00	1.36
36	26,50	1.36
37	27.00	1.35
38	27.50	1.35
39	28,00	1.34
40	28.50	1.34
41	29.00	1.33
42	29,50	1,33
43	30,00	1,32
44	30,50	1,32
45	31,00	1,31
46	31,50	1,31
47	32,00	1,30
48	32,50	1,30
49	33,00	1,30
50	33,50	1,29
51	34,00	1,29
52	34,50	1,28
53	35,00	1,28
54	35,50	1,28
55	36,00	1,27
56	36,50	1,27
57	37,00	1,27
58	37,50	1,27
59	38,00	1,26
60	38,50	1,26
61	39,00	1,26
62	39,50	1,25
63	40,00	1,25

Tabla B.4. Resultados de Coef. Resistencia total versus Velocidad con el blindaje nuevo

Tabla B.5. Resultados de Coef. Resistencia friccional versus Velocidad con el blindaje nuevo

	Velocidad	Coeficiente
Items	KN	de correlacion x 1000
1	9,00	0,39
2	9,50	0,38
3	10,00	0,37
4	10,50	0,36
5	11,00	0,35
6	11,50	0,34
7	12,00	0,33
8	12,50	0,32
9	13,00	0,31
10	13,50	0,30
11	14,00	0,29
12	14,50	0,29
13	15,00	0,28
14	15,50	0,27
16	16,00	0,27
17	17,00	0.26
18	17,50	0.26
19	18.00	0.26
20	18.50	0.25
21	19.00	0.25
22	19.50	0.25
23	20.00	0.25
24	20,50	0,25
25	21,00	0,24
26	21,50	0,24
27	22,00	0,24
28	22,50	0,24
29	23,00	0,24
30	23,50	0,24
31	24,00	0,24
32	24,50	0,24
33	25,00	0,24
34	25,50	0,24
35	26,00	0,23
36	26,50	0,23
37	27,00	0,23
38	27,50	0,23
39	28,00	0,23
40	28,50	0,23
41	29,00	0,23
42	29,50	0,23
43	30,00	0,23
44	30,50	0,23
45	31,00	0,23
46	31,50	0,23
47	32,00	0,23
48	32,50	0,23
49	33,00	0,23
50	33,50	0.23
51	34,00	0.23
53	35.00	0.23
54	35,00	0,23
55	36.00	0,23
56	36.50	0.23
57	37.00	0.23
58	37.50	0.23
59	38.00	0,23
60	38.50	0,23
61	39.00	0,23
62	39.50	0,23
63	40.00	0,23

Tabla B.6. Resultados de Coef. Correlación versus Velocidad con el blindaje nuevo

ANEXOS C. Gráficas obtenidad de Maxsurf Motion para lancha con blindaje antiguo



AMAZONAS ORIGINAL 8.10

Figura C.1. Ubicación de centros y parámetros clave para simulaciones hidrodinámicas



Figura C.2. MSI CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura C.3. MSI CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m











Figura C.8.CG RAOs CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m







Figura C.11. CG RAOS CON VELOCIDAD DE 28 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura C.12. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura C.13. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura C.14. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura C.15. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m





Figura C.17. MSI CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m









Figura C.21. MSI CON VELOCIDAD DE 28 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m



Figura C.22. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m











Figura C.29. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m





Figura C.31. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 28 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m







Figura C.33. MSI CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura C.35. MSI CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m







Figura C.38. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura C.39. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura C.40. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m







Figura C.44. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



ANEXOS D. Gráficas obtenidad de Maxsurf Motion para lancha con blindaje antiguo

AMAZONAS ORIGINAL 8.10



Figura D.1. Ubicación de centros y parámetros simulaciones con maxf motion con blindaje nuevo





Figura D.3. MSI CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m





10 Encounter Frequency rad/s Figura D.6. MSI CON VELOCIDAD DE 31 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m

2 hrs. exposure (ISO 263())

or 8 hrs. exposure (ISO 2631)

vere discon

Accele

0,81

0*

ort boundary

=



Figura D.7. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m







Figura D.10. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura D.12. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 31 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m





Figura D.14. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura D.15. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura D.16. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura D.17. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 31 Kn Y ALTURA DE OLA DE 0.5 m



Figura D.18. MSI CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m



Figura D.19. MSI CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m





Figura D.21. MSI CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m



Figura D.23. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m


Figura D.24. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m



Figura D.25. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m





Figura D.28. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m





Figura D.30. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m



Figura D.31. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m



Figura D.32. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 31 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.0 m





Figura D.34. MSI CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura D.35. MSI CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura D.36. MSI CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m





Figura D.38. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 8 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura D.39. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura D.40. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 15 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura D.41. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 20 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m



Figura D.4. CG RAOs CON VELOCIDAD DE 31 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m





Figura D.44. CG SPECTRA CON VELOCIDAD DE 10 Kn Y ALTURA DE OLA DE 1.5 m







ANEXOS E. Datos técnicos del motor fuera de borda.

200AET					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS					
Altura de espejo (pulgadas): L: 20.3 - X: 25.3	Dirección: Control remoto				
Basculación: Eléctrico	Peso (aprox.): 178 kg				
Tipo de motor: 90° V6, 2 tiempos	Cilindrada: 2596 cc				
Calibre por carrera: 90.0 x 68.0 mm	Potencia de Salida kW (Hp): 147.1 (200) @ 5000 RPM				
Rango máximo de RPM de funcionamiento: 4500 - 5500 RPM	Relación de compresión: 5.9				
Consumo máximo de combustible: 81 l/h	Sistema de inducción de combustible: 3 Carb. De doble garganta				
Sistema de encendido: CDI	Sistema de lubricación: Pre mezcla				
Arranque: Eléctrico	Relación de transmisión: 1.86 (26/14)				
Palanca de cambio: F-N-R	Sistema de escape: A través de la hélice				

Figura E.1. Especificaciones técnicas del motor fuera de borda

ANEXOS F. Tabla de pesos de lancha Amazonas con blindaje antiguo

	Item Name	Fluid type	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m
1	CASCO		1	2,250	2,250	3,220	0,000
2	PROTECCION BALISTICA		1	0,572	0,572	3,970	0,000
3	MOTOR BB		1	0,186	0,186	-0,135	0,000
4	MOTOR EB		1	0,186	0,186	-0,135	0,000
5	TRIPULANTE 01 EB		1	0,120	0,120	1,950	0,200
6	TRIPULANTE 02 EB		1	0,120	0,120	2,440	0,200
7	TRIPULANTE 03 EB		1	0,120	0,120	2,930	0,200
8	TRIPULANTE 04 EB		1	0,120	0,120	3,420	0,200
9	TRIPULANTE 01 BB		1	0,120	0,120	1,950	0,000
10	TRIPULANTE 02 BB		1	0,120	0,120	2,440	0,000
11	TRIPULANTE 03 BB		1	0,120	0,120	2,930	0,000
12	TRIPULANTE 04 BB		1	0,120	0,120	3,420	0,000
13	PILOTO EB		1	0,120	0,120	4,260	-0,470
14	TK COMBUSTIBLE POPA	Diese	95%	0,333	0,316	1,945	0,000
15	TK COMBUSTIBLE PROA	Diesel	95%	0,220	0,209	3,200	0,000
16	Total Loadcase				4,799	2,884	0,008
17	FS correction						
18	VCG fluid						

Tabla F.1. Tabla de pesos para embarcación con blindaje antiguo

	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	0,642	7,245	0,000	1,444	0,000	User Specif
2	0,930	2,272	0,000	0,532	0,000	User Specif
3	0,790	-0,025	0,000	0,147	0,000	User Specif
4	0,790	-0,025	0,000	0,147	0,000	User Specif
5	1,270	0,234	0,024	0,152	0,000	User Specif
6	1,270	0,293	0,024	0,152	0,000	User Specif
7	1,270	0,352	0,024	0,152	0,000	User Specif
8	1,270	0,410	0,024	0,152	0,000	User Specif
9	1,270	0,234	0,000	0,152	0,000	User Specif
10	1,270	0,293	0,000	0,152	0,000	User Specif
11	1,270	0,352	0,000	0,152	0,000	User Specif
12	1,270	0,410	0,000	0,152	0,000	User Specif
13	1,270	0,511	-0,056	0,152	0,000	User Specif
14	0,382	0,614	0,000	0,121	0,290	Maximum
15	0,382	0,669	0,000	0,080	0,192	Maximum
16	0,801	13,840	0,040	3,843	0,482	
17	0,100					
18	0,901					

Table 1.2. Table de momentos resultantes con el bindaje antigu	Tabla F.2.	Tabla de momentos	resultantes con	el blindaje antigu
---	------------	-------------------	-----------------	--------------------

ANEXOS G. Tabla de	pesos de lancha Amazonas	con blindaje nuevo
--------------------	--------------------------	--------------------

	Item Name	Fluid type	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Trans. Arm m
1	CASCO		1	2,250	2,250	3,220	0,000
2	PROTECCION BALISTICA		1	0,212	0,212	3,970	0,000
3	MOTOR BB		1	0,186	0,186	-0,135	0,000
4	MOTOR EB		1	0,186	0,186	-0,135	0,000
5	TRIPULANTE 01 EB		1	0,120	0,120	1,950	0,200
6	TRIPULANTE 02 EB		1	0,120	0,120	2,440	0,200
7	TRIPULANTE 03 EB		1	0,120	0,120	2,930	0,200
8	TRIPULANTE 04 EB		1	0,120	0,120	3,420	0,200
9	TRIPULANTE 01 BB		1	0,120	0,120	1,950	0,000
10	TRIPULANTE 02 BB		1	0,120	0,120	2,440	0,000
11	TRIPULANTE 03 BB		1	0,120	0,120	2,930	0,000
12	TRIPULANTE 04 BB		1	0,120	0,120	3,420	0,000
13	PILOTO EB		1	0,120	0,120	4,260	-0,470
14	TK COMBUSTIBLE POPA	Diesel	95%	0,333	0,316	1,945	0,000
15	TK COMBUSTIBLE PROA	Diesel	95%	0,220	0,209	3,200	0,000
16	Total Loadcase				4,439	2,795	0,009
17	FS correction						
18	VCG fluid						

Tabla G.1. Tabla de pesos para embarcación con blindaje nuevo

	Vert. Arm m	Long. moment tonne.m	Trans. moment tonne.m	Vert. moment tonne.m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	0,642	7,245	0,000	1,444	0,000	User Specif
2	0,930	0,843	0,000	0,198	0,000	User Specif
3	0,790	-0,025	0,000	0,147	0,000	User Specif
4	0,790	-0,025	0,000	0,147	0,000	User Specif
5	1,270	0,234	0,024	0,152	0,000	User Specif
6	1,270	0,293	0,024	0,152	0,000	User Specif
7	1,270	0,352	0,024	0,152	0,000	User Specif
8	1,270	0,410	0,024	0,152	0,000	User Specif
9	1,270	0,234	0,000	0,152	0,000	User Specif
10	1,270	0,293	0,000	0,152	0,000	User Specif
11	1,270	0,352	0,000	0,152	0,000	User Specif
12	1,270	0,410	0,000	0,152	0,000	User Specif
13	1,270	0,511	-0,056	0,152	0,000	User Specif
14	0,382	0,614	0,000	0,121	0,290	Maximum
15	0,382	0,669	0,000	0,080	0,192	Maximum
16	0,790	12,411	0,040	3,508	0,482	
17	0,109					
18	0,899					

Tabla G.2. Tabla de momentos resultantes con el blindaje nuevo