



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar.

**“Diseño conceptual de Dispositivos Agregadores de Peces Re-
utilizables para la pesca de Atún”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA NAVAL

Presentada por:

Luis Eduardo Neira Anda

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2024

EVALUADORES

Dr. José Rolando Marín López
DIRECTOR DE PROYECTO

|

Declaración Expresa

Yo Luis Eduardo Neira Anda 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 estudiante deberá 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 corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor 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, 30 de enero del 2025.

Luis Eduardo Neira Anda

RESUMEN

Los Dispositivos Agregadores de Peces (DAPs) son una herramienta esencial para aumentar la eficiencia en la pesca del atún, y los materiales usados en su construcción juegan un papel crucial en su rendimiento a largo plazo. Este trabajo explora la importancia y los avances en el uso de los DAPs dentro de la industria atunera, con un enfoque en la transición hacia versiones reutilizables que buscan mejorar la sostenibilidad de las operaciones pesqueras.

El objetivo de este trabajo es analizar, a nivel conceptual, la viabilidad de la implementación de DAPs reutilizables, comparándolos con los DAPs tradicionales y biodegradables en términos de costos y vida útil. Se pretende demostrar cómo el uso de materiales más duraderos, como el acero, puede reducir los costos operativos a largo plazo y mejorar la sostenibilidad.

La metodología empleada incluye la recopilación de información en campo, análisis de simulación de comportamiento en el mar bajo diferentes condiciones, y un estudio comparativo de los costos y durabilidad de los materiales. Se realizaron simulaciones que analizaron el impacto de las olas y el viento sobre los DAPs para comprender mejor su rendimiento y resistencia en condiciones reales de trabajo.

Los resultados indican que los DAPs reutilizables no solo son más rentables a largo plazo debido a su durabilidad, sino que también disminuyen el impacto ambiental al reducir la necesidad de reemplazos frecuentes. Las simulaciones muestran que estos dispositivos mantienen un rendimiento estable incluso en condiciones climáticas adversas.

Este análisis tiene un gran significado para la industria atunera, ya que promueve la adopción de tecnologías más sostenibles y eficientes, lo que contribuye al desarrollo de prácticas pesqueras responsables y económicamente viables.

Palabras clave: Dispositivos Agregadores de Peces (DAPs), pesca atunera, materiales reutilizables, impacto ambiental, eficiencia pesquera.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	4
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
GLOSARIO	9
CAPÍTULO 1	12
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Antecedentes.....	15
1.2. Componentes de un Dispositivo Agregador de Peces (DAP)	17
1.3. Planteamiento del problema.	23
1.4. Objetivo General.....	25
CAPÍTULO 2	26
2. METODOLOGÍA	26
2.1. Obtención de los parámetros de diseño	27
2.2. Levantamiento de información a bordo de un barco atunero.	34
2.3. Diseño conceptual de un DAP de acero.....	41
2.4. Costo de construcción y mantenimiento del DAP.	49
2.5. Análisis de factibilidad económica y operativa con DAP de acero.	52
CAPÍTULO 3	55
3. RESULTADOS	55
3.1. Capacidades encontradas a bordo de los buques.	55
3.2. Factores de Éxito de los Indicadores Presentados en los Objetivos.....	56
3.3. Barreras encontradas en el desarrollo de la metodología.	56
3.4. Perspectivas Futuras	57
CAPÍTULO 4	58

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
4.1. Conclusiones.....	58
4.2. Recomendaciones.....	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS.....	63
ANEXO A. SIMULACIÓN DEL MODELO CAD DEL DAP PROPUESTO EN CONDICIONES REALES EN EL AMBIENTE MARINO.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ecosonda Satelital de la empresa Zunibal.....	17
Figura 2. Estructura de DAP y ecosonda satelital amarrada, vista desde la superficie.	18
Figura 3. Estructura estándar de un DAP's biodegradable proporcionado por un capitán de pesca. La estructura flotante mide aproximadamente 2 metros cuadrado y la sección rayada son llamados cortinas, pueden ser pedazos de tela, anteriormente se usaban redes.	19
Figura 4. Parte flotante de la estructura del DAP.....	20
Figura 5 Plataforma ZUNFLOAT desarrollada por la empresa ZUNIBAL.....	21
Figura 6. Captura de herramienta virtual Triz con primera iteración consultada.	28
Figura 7. Resultados obtenidos de la herramienta virtual Triz.	28
Figura 8. Segunda iteración consultada en Triz.....	29
Figura 9. Resultados de la segunda iteración consultada en Triz.	29
Figura 10. Ilustración de la pesca con red de cerco de jareta (Purse wire).	37
Figura 11. Accesorios de uso común a bordo de buques atuneros.....	39
Figura 12. Boceto inicial del DAP de acero. Izq: Vista en perspectiva. Derecha superior: Vista de planta. Derecha inferior: Ensamble de la boya. La baliza satelital debe ir amarrada con un cabo a 3 metros del DAP.	41
Figura 13. Barreras encontradas en el diseño de DAPs reutilizables.....	57
Figura 14. Curvas hidrostáticas del conjunto de boyas, el modelo se ha considerado como un grupo de cuerpos unidos rígidamente.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Glosario de términos empleados en este documento.....	11
Tabla 2. Infografía de ISSF sobre el impacto de los DAP, posibles soluciones y el estado de su implementación. X significa que no ha sido implementada.....	23
Tabla 3. Matriz de decisión para selección de material a utilizar.....	27
Tabla 4. Comparación beneficios y contras de los DAP'S tradicionales VS biodegradables VS reutilizables, también se presentan costos de adquisición, vida útil, etc.	33
Tabla 5. Listado de recursos disponibles a bordo de un buque atunero.	36
Tabla 6. Costos y tiempos de vida útil aproximados de accesorios de uso común en los buques atuneros.	40
Tabla 7. Detalles del costo de construcción del DAP propuesto.	49
Tabla 8. Detalles del costo por mantenimiento del DAP propuesto.....	50
Tabla 9. Detalles del costo total del DAP propuesto.....	50
Tabla 10. Comparación de costos entre el DAP tradicional y el DAP reutilizable.	52
Tabla 11. Costo beneficio para DAP biodegradable y DAP reutilizable.....	53
Tabla 12. Valores de curvas hidrostáticas a diferentes calados, hasta 0.5 m.	65

GLOSARIO

Término	Descripción
Baliza Satelital	Dispositivo de rastreo y seguimiento utilizado en la pesca para monitorear la ubicación de embarcaciones o dispositivos flotantes en tiempo real mediante conexiones satelitales.
Captura Incidental	Atrapar involuntariamente especies marinas no deseadas durante la actividad pesquera principal, incluyendo especies protegidas o en riesgo.
Cardumen	Grupo de peces, como el atún, que se desplaza en conjunto de manera coordinada en aguas marinas.
Círculo de Captura	Área circular del océano donde se concentra un cardumen de peces alrededor de un DAP, facilitando su captura.
Descartes	Organismos marinos capturados incidentalmente durante la pesca que son devueltos al mar, generalmente muertos o moribundos.
Dispositivos Agregadores de Peces (DAPs)	Estructuras flotantes que atraen cardúmenes de peces, como el atún, concentrándolos para facilitar su captura.
Ecosistema Marino	Conjunto de interacciones entre organismos marinos y su entorno físico, que constituyen un hábitat marino.
Ecosonda	Instrumento que mide la profundidad del fondo marino y detecta peces u obstáculos bajo una embarcación.
Ecosonda Satelital	Dispositivo que utiliza tecnología sonar y transmisión satelital para mapear el fondo marino y monitorear la presencia de peces.
Impacto Ambiental	Efecto negativo de las actividades pesqueras en el medio ambiente marino, incluyendo la captura incidental y la degradación de los ecosistemas.
Monitoreo Pesquero	Proceso de seguimiento y evaluación de las capturas pesqueras para garantizar una gestión sostenible de los recursos.
OROP	Organismo Regional de Ordenación Pesquera dedicado a su gestión sustentable de especies migratorias.

Pesca de Atún con Red de Cerco	Método de pesca que rodea un cardumen de atún con una red para su captura selectiva.
Regulaciones Pesqueras	Normativas establecidas para gestionar las actividades pesqueras y garantizar la sostenibilidad de los recursos marinos.
Salabardo	Herramienta de pesca tradicional para la captura selectiva de peces, como el atún, de forma individual.
Sostenibilidad Pesquera	Prácticas de pesca que garantizan la conservación de los recursos marinos a largo plazo.
Subvención Pesquera	Asistencia financiera otorgada por el gobierno a la industria pesquera para apoyar actividades o infraestructura.
Termoclina	Zona donde se presenta un cambio brusco de temperatura debido a la superposición de capas de agua, en esta zona suelen nadar los atunes.
Tonelaje Bruto (GT)	Medida de la capacidad de carga de un barco, que incluye todos los espacios cerrados del buque.
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización, encargado de la normalización, reglamentación, certificación y metrología en Ecuador.
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería, responsable del desarrollo agrícola, ganadero y pesquero en Ecuador.
IPIAP	Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, enfocado en la investigación científica y técnica en acuicultura y pesca.
OMC	Organización Mundial del Comercio, regula el comercio internacional para asegurar prácticas comerciales justas y libres.
CIAT	Comisión Interamericana del Atún Tropical, maneja la conservación y uso sostenible de los recursos atuneros en el Océano Pacífico Oriental.
FDA	Food and Drug Administration, agencia de los EE.UU. que regula la seguridad alimentaria, medicamentos y productos relacionados con la salud pública.

OMS	Organización Mundial de la Salud, coordina la salud pública internacional y establece estándares de calidad y seguridad sanitaria.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, lucha contra el hambre y promueve el uso sostenible de los recursos naturales.
ISO	Organización Internacional de Normalización, establece normas técnicas y de calidad para productos y servicios.
DOLPHIN SAFE	Certificación que asegura que la pesca de atún no daña a los delfines, promoviendo prácticas de pesca responsables.
HALAL	Certificación que indica que los productos cumplen con los requisitos islámicos, especialmente en la preparación de alimentos.
IFS	International Featured Standards, normas internacionales que garantizan la seguridad y calidad de productos en la cadena de suministro.
BRC	British Retail Consortium, estándar de seguridad alimentaria del Reino Unido para garantizar la calidad y seguridad de los productos comercializados.
KOSHER	Certificación que garantiza que los productos cumplen con las leyes dietéticas judías.
OIT	Organización Internacional del Trabajo, establece normas laborales internacionales y promueve condiciones de trabajo justas.

Tabla 1. Glosario de términos empleados en este documento.

Fuente: Preparado por el autor.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los Dispositivos Agregadores de Peces (DAP) aumentan la eficiencia en las faenas de pesca de atún con red de cerco reduciendo los tiempos de búsqueda de atunes, ya que su dispositivo satelital indica su ubicación y la cantidad aproximada de atún que agregaron, de esta manera los buques pueden navegar directamente hacia los DAP, ahorrando combustible y otros recursos. Se estima que aproximadamente el 58% de las capturas realizadas por los buques atuneros en el Océano Pacífico Oriental utilizan estos dispositivos (ISSF, n.d.). La efectividad de los DAP en atraer peces se debe a que en sus alrededores se genera un ecosistema que resulta atractivo para que los atunes se mantengan cerca del dispositivo. Sin embargo, algunos de sus componentes son contruidos de forma artesanal.

Estos dispositivos constan de un cuerpo artesanalmente contruido y una baliza satelital, con diferentes niveles de desarrollo tecnológico. En los últimos años, las empresas proveedoras de balizas satelitales han realizado mejoras significativas, como la discriminación acústica, que permite diferenciar entre especies y tallas de los peces que se encuentran bajo el DAP (Sobradillo et al., 2024). Sin embargo, el diseño estructural del cuerpo de los DAP cuenta con una parte flotante que suele medir aproximadamente 2 metros cuadrados y un “rabo” o cuerpo sumergido de hasta 15 metros de longitud. Toda esta estructura está contruida artesanalmente con materiales sintéticos como piolas de nylon y redes de pesca, lo que representa un elevado riesgo de impacto ambiental afectando negativamente los ecosistemas marinos, que incluye la posibilidad de que los animales marinos queden enredados en los dispositivos, o que los DAP se varen en playas o se hundan.

El impacto ambiental reportado en el hábitat marino producido por los DAP perdidos y abandonados (Macfadyen et al., 2009) ha llevado a los organismos de regulación y control pesquero a establecer plazos para la implementación de alternativas biodegradables. Como lo indica la resolución C-23-04 de la Comisión interamericana del Atún Tropical, OROP que regula el Pacífico Este (IATTC, n.d.). Sin embargo, aún no se han establecido reglas de propiedad y programas de recuperación de los DAPs, ni

se han delimitado las áreas donde se pueden desplegar, para evitar que terminen varados en ecosistemas vulnerables.

No obstante, los materiales biodegradables que se están probando en los DAP no garantizan la durabilidad necesaria para soportar largos periodos en el mar, y sus flotadores siguen siendo de plástico (Moreno et al., n.d.). Estos dispositivos biodegradables son fabricados con fibras naturales como:

- Fibra de coco: Resistente al agua salada y biodegradable, usada en elementos de flotación o recubrimientos,
- Yute: Económica y fuerte, utilizada en redes o recubrimientos, con la ventaja de ser biodegradable,
- Sisal: Ideal para cuerdas debido a su resistencia y capacidad de absorción. Es menos durable que las fibras sintéticas,
- Algodón: Aunque menos común, puede ser utilizado en elementos de amarre
- Abacá: Tela y cabos de fibra vegetal, muy resistente.

Una posible alternativa a los materiales biodegradables es el acero naval, debido a que es ampliamente utilizado en la industria para la construcción de estructuras flotantes de diversos tamaños, desde portacontenedores Post-Panamax hasta pequeñas boyas científicas. Los beneficios que ofrece el acero incluyen una degradación controlada, mayor trazabilidad, un alto retorno de inversión y amplia disponibilidad de materia prima. Además, el reutilizar este material hasta el final de su vida útil es una alternativa más sostenible en comparación con el uso de materiales sintéticos. Con el debido mantenimiento, el acero ofrece una solución eco-amigable y duradera.

Actualmente, el impacto ambiental de los DAP de materiales sintéticos es insostenible debido a que tan solo se recupera aproximadamente el 15% de los DAP desplegados (Lopez et al., 2022). El gran porcentaje de DAP que no se recupera contribuye significativamente a la contaminación marina y a la generación de micro plásticos, cuyo origen es difícil de rastrear, incumpliendo así con las recomendaciones voluntarias de la FAO (FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019). Con el uso de acero naval, se espera incrementar este porcentaje de recuperación de dispositivos hasta alcanzar la viabilidad económica del proyecto.

Este trabajo propone el diseño conceptual de un DAP fabricado en acero, que sea identificable, de fácil transporte, modular y acompañado de una guía para su armado y mantenimiento. Las consideraciones para su diseño serán evaluadas utilizando

herramientas adquiridas durante esta maestría, realizando un análisis técnico-económico. Este proyecto tiene el potencial de solucionar un problema de gran envergadura en la industria atunera a nivel mundial, sirviendo como base para pruebas en el mar y para el desarrollo futuro de políticas públicas que beneficien la sostenibilidad de nuestros océanos y de la pesca de atún.

1.1. Antecedentes

El atún es uno de los productos más consumidos en todo el mundo, gracias a su alto valor nutricional. Su carne es rica en Omega-3, minerales, proteínas y vitamina B12 (Karunarathna & Attygalle, 2019). De acuerdo con las Naciones Unidas, el atún representa más del 8% de todos los productos del mar comercializados a nivel global (Naciones Unidas, n.d.). En el 2023, se capturaron 3,208,343 toneladas de atún en el Océano Pacífico, con una demanda que crece anualmente. Según las últimas estimaciones de la ONU, el 33,3% de las poblaciones de las siete principales especies de atún están siendo explotadas a niveles biológicamente insostenibles (Naciones Unidas, n.d.). Esta creciente demanda ha puesto en riesgo la sostenibilidad de alguna de las especies de tunidos como el Bigeye y Bluefin Tuna, sin embargo, las especies más comerciales como el Skipjack y Yellowfin se encuentran en niveles de explotación saludables. Las OROP están implementando diferentes medidas de conservación para permitir que estas especies se recuperen, por ejemplo, aumentando los días de veda a los buques que excedan sus capturas de Bigeye en más de 1,500 toneladas.

En Ecuador, la pesca de atún es la principal actividad del sector pesquero industrial generando ingresos de 1.914 millones de USD en 2022 (Anastacio & Cámara Nacional de Pesquería, 2022). Este sector proporciona 24.000 empleos directos y 120.000 empleos indirectos, de los cuales el 53% son ocupados por mujeres que trabajan en plantas procesadoras de atún. Por lo que, el gobierno nacional ha implementado medidas para fortalecer esta industria.

El éxito de la industria atunera ecuatoriana está relacionado con el cumplimiento de diversas regulaciones y estándares de calidad e inocuidad sanitaria. Estas normativas incluyen las nacionales como INEN, MAG e IPIAP, y las internacionales como OMC, CIAT, FDA, OMS, FAO, ISO, DOLPHIN SAFE, HALAL, IFS, BRC y KOSHER, entre otras. En términos laborales, se sigue la normativa de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), lo que permite a Ecuador acceder a mercados con altos estándares ambientales (Ministerio de Comercio Exterior, 2017). Este marco legal garantiza el acceso a mercados internacionales.

La flota pesquera ecuatoriana de atún es una de las más importantes en el Océano Pacífico Oriental (OPO). Inicialmente, estaba compuesta por 42 embarcaciones cañeras con cebo vivo y 26 cerqueras de menor capacidad. En 1998, Ecuador se posicionó como el segundo mayor capturador de atún, superado solo por México. Un año después,

Ecuador alcanzó el primer lugar en capturas de atún y mantuvo esa posición hasta 2016, representando el 43,60% de las capturas totales en el OPO, según la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT). Entre 2010 y 2016, Ecuador representó el 41% de las capturas, seguido de México (23,13%), Panamá (10,30%), Venezuela (7,15%) y Nicaragua (2,59%). Actualmente, la flota atunera ecuatoriana cuenta con 114 embarcaciones y una capacidad de captura de 277.736 toneladas, asegurando el 60% del aprovisionamiento de materia prima para la industria nacional (Ministerio de Comercio Exterior, 2017)

En Ecuador, los Dispositivos Agregadores de Peces (DAP) juegan un papel importante en la industria atunera, facilitando la captura de atunes al congregarlos en una ubicación conocida en el océano. La pesca con DAP ha demostrado ser significativamente más productiva en comparación con la pesca sin estos dispositivos. La pesca con DAP tiende a tener tasas de captura más altas, permitiendo que los buques capturen un promedio de entre 1.5 a 2 veces más toneladas de atún en comparación con los métodos tradicionales sin DAP. En el Océano Pacífico Oriental, se estima que alrededor del 70% de las capturas de atún en la región son realizadas utilizando DAP, lo que evidencia su alta adopción y efectividad en la industria. Sin embargo, la pesca con DAP también ha generado preocupaciones debido a su impacto en la captura incidental de especies no deseadas y juveniles, lo que afecta la sostenibilidad de las poblaciones marinas.

Para equilibrar la productividad y la sostenibilidad, la regulación en Ecuador y en la región está encaminada a limitar el número de DAP activos por cada barco y promover el uso de dispositivos biodegradables o con tecnologías que reduzcan la captura incidental. Esto forma parte de un esfuerzo más amplio para asegurar que la pesca siga siendo una actividad viable a largo plazo, tanto económica como ambientalmente.

1.2. Componentes de un Dispositivo Agregador de Peces (DAP)

Los Dispositivos Agregadores de Peces (DAP) están compuestos por dos elementos fundamentales: una ecosonda satelital y una estructura con partes flotantes y sumergidas. A continuación, se describe cada uno de estos componentes y su función en la pesca del atún.

a) Ecosonda Satelital:

La ecosonda satelital que se muestra en la Figura 1 es el componente tecnológico del DAP que proporciona datos cruciales para la pesca eficiente. Está diseñada para enviar información sobre la ubicación y el estado del DAP a través de señales satelitales, permitiendo a los capitanes de las embarcaciones rastrear la posición exacta del dispositivo. Además, la ecosonda cuenta con sensores que monitorean y analizan la agregación de peces debajo del DAP, proporcionando datos sobre el volumen y especies presentes en tiempo real.



Figura 1. Ecosonda Satelital de la empresa Zunibal.

Fuente: Zunibal. (s.f.). Boya TUNA8 Explorer. Recuperado de <https://zunibal.com/es/pesca-de-atun/boya-tuna8-explorer/>

Este dispositivo funciona mediante paneles solares y baterías, lo que garantiza su autonomía durante largos periodos en el mar. Entre las principales empresas proveedoras de estos sistemas están Zunibal, Nautical, y Satlink, que han desarrollado ecosondas que optimizan las faenas de pesca, facilitando la toma de decisiones sobre cuál DAP visitar en función de los datos recolectados por los sensores.

La información proporcionada por la ecosonda satelital es vital para la industria atunera porque gracias a esta tecnología, los capitanes pueden optimizar las campañas de pesca, ahorrando recursos como combustible y tiempo. Las ecosondas no solo indican la posición GPS, sino que también recopilan datos sobre la velocidad y rumbo del DAP, la temperatura del agua, la profundidad de la termoclina y estimaciones del volumen de peces debajo del DAP. La *Figura 2* muestra cómo se ve un DAP's con su correspondiente ecosonda en la superficie del mar.



Figura 2. Estructura de DAP y ecosonda satelital amarrada, vista desde la superficie.

Fuente: Fotografía tomada por el autor.

b) Estructura del DAP

La estructura de un DAP se divide en dos partes: una flotante y otra sumergida. Cada capitán de pesca puede modificar la forma de esta estructura en función de sus necesidades y experiencia acumulada, por lo que existen tantas variaciones de este componente como capitanes en la flota y resulta difícil evaluar su desempeño a lo largo de los años. Por ejemplo, la Figura 3 muestra un diseño elaborado por un capitán de la flota atunera ecuatoriana, con una longitud sumergida de más de 40 metros y ha llegado

a agregar hasta 500 toneladas en 2 meses. La estructura flotante mide aproximadamente 2 metros cuadrado y la sección rayada son llamados cortinas, pueden ser pedazos de tela, anteriormente se usaban redes.

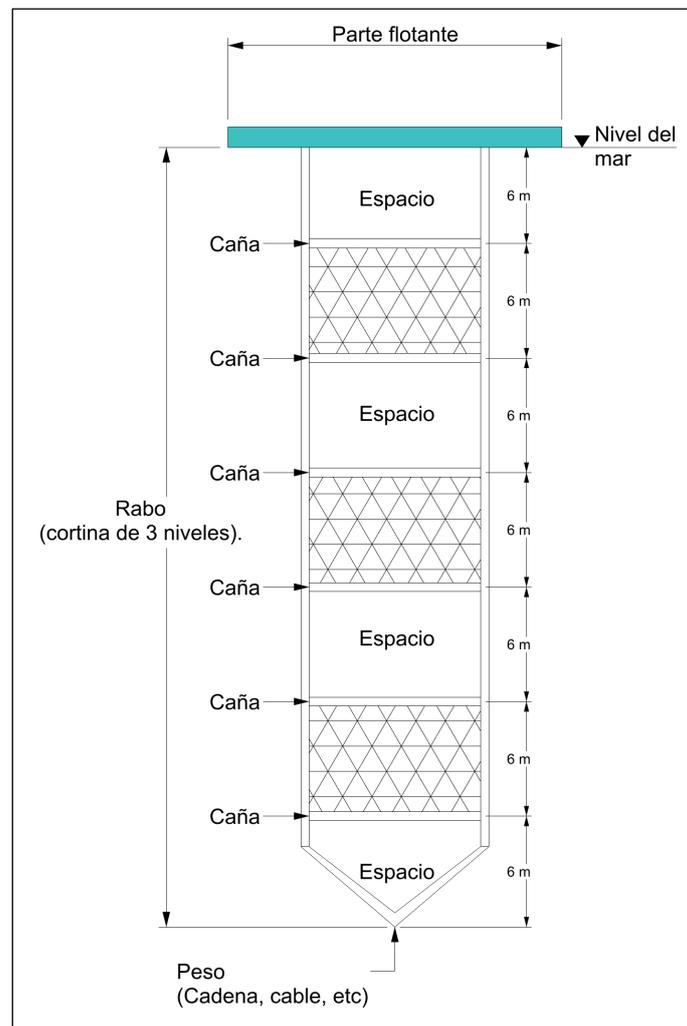


Figura 3. Estructura estándar de un DAP's biodegradable proporcionado por un capitán de pesca.

Fuente: Capitán de buque atunero.

- **Parte Flotante**

La parte flotante suele estar construida con materiales ligeros y resistentes, como caña guadúa o tubos de PVC, con dimensiones que varían entre 1 y 4 metros cuadrados como se muestra en la Figura 4. Para mantener la flotabilidad, se utilizan flotadores sintéticos de EVA (etileno-vinil-acetato), los cuales son reciclados de redes de pesca en desuso. La estructura flotante está forrada con redes de pesca desechadas, preferiblemente con malla de pequeño tamaño para evitar el “enmallamiento” accidental de especies marinas.



Figura 4. Parte flotante de la estructura del DAP.

Fuente: Proporcionado por personal de pesca en buques atuneros.

A pesar de los esfuerzos para encontrar materiales alternativos, los flotadores de EVA siguen siendo el estándar en la parte flotante del DAP, a pesar de su impacto ambiental, ya que no son biodegradables. Sin embargo, se están realizando estudios en busca de materiales más sostenibles, como bioplásticos, que aún se encuentran en fase experimental en el mar (Zudaire et al., 2024).



Figura 5. Plataforma ZUNFLOAT desarrollada por la empresa ZUNIBAL.

Fuente: <https://zunibal.com/es/dispositivos-flotantes/>

Parte Sumergida (Rabo)

La parte sumergida, conocida como rabo entre los pescadores, es una estructura compuesta generalmente por redes de pesca en desuso enrolladas en forma de salchicha y amarradas con piola de nylon, ver la Figura 6. Esta parte sumergida tiene como función agregar vida marina y atraer a los atunes para que permanezcan cerca del DAP. En algunos casos, se incorporan tanques plásticos con carnada en esta parte para aumentar su efectividad. En el extremo más profundo, se añade un peso que puede variar entre 20 y 100 kg, lo que ayuda a mantener el DAP tensionado hacia abajo sin perder la flotabilidad.

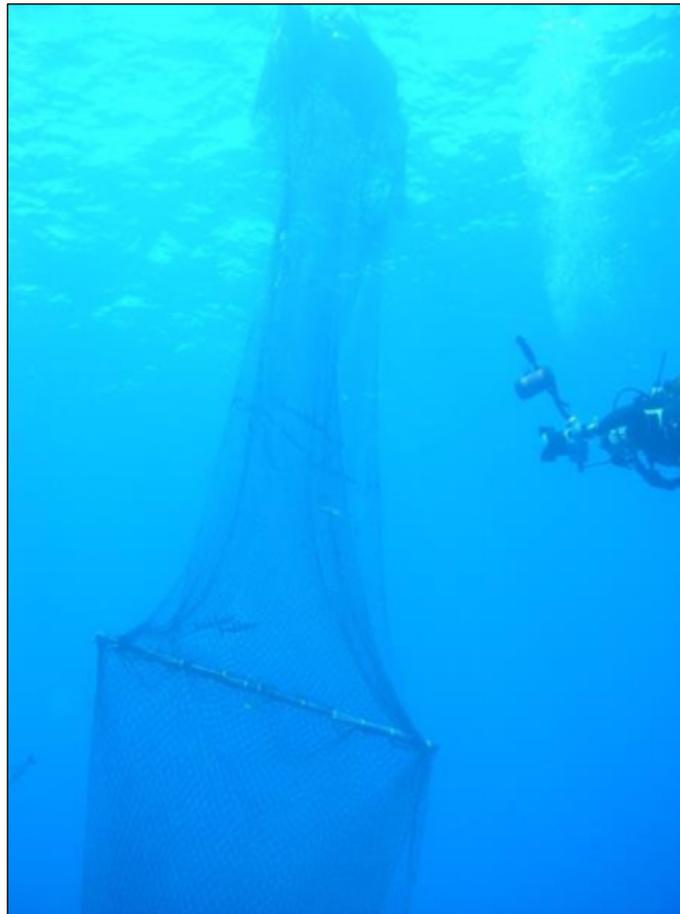


Figura 6. Vista submarina de un DAP.

Fuente: Fadio, IRD, Ifremer & Taquet, M. (s.f.).

No obstante, el uso de redes de pesca en la construcción de la parte sumergida ha generado preocupación entre los organismos de conservación debido a los riesgos de enmallamiento accidental de especies marinas. Por esta razón, se están implementando regulaciones progresivas que restringen el uso de redes de pesca en los DAP, incentivando el desarrollo de alternativas más seguras para el medio ambiente.

1.3. Planteamiento del problema.

Los Dispositivos Agregadores de Peces (DAPs) son herramientas ampliamente utilizadas en la pesca industrial para aumentar la captura de especies objetivo, como el atún. Sin embargo, diversos estudios científicos (ISSF, 2023; ROBAYO, 2018; Santana, 2015) han revelado que su uso puede acarrear serios problemas ambientales. La Tabla 2 muestra estos problemas impactan negativamente los ecosistemas marinos en diversas formas, lo que ha generado la necesidad de un análisis exhaustivo de sus implicaciones.

Problemas	Medidas Propuestas	Implementación
Ghost Fishing	Limitar el despliegue de DAPs	✗
	Limitar los DAPs activos	✗
Perturbación del Hábitat	Mitigación de captura incidental y mejores prácticas	✓
	Requerir LERFADs (Lower Entanglement Risk FADs)	✓
Impactos de DAPs Perdidos	Requerir DAPs completamente no enredantes	✓
	DAPs biodegradables	✗
	Establecer reglas de propiedad	✗
	Programas de recuperación de DAPs	✗
Gestión Espacial	Gestión espacial de los despliegues de DAPs	✗
Problemas de Propiedad	Establecer reglas de propiedad	✗

Tabla 2. Infografía de ISSF sobre el impacto de los DAP, posibles soluciones y el estado de su implementación. X significa que no ha sido implementada.

Fuente: (ISSF, 2023)

Problemas Identificados:

- **Captura Incidental:** Los DAPs atraen a una variedad de especies, incluidas aquellas que no son el objetivo de la pesca o que están protegidas, lo que aumenta el riesgo de captura incidental y afecta la biodiversidad marina.
- **Impacto en Ecosistemas:** La utilización de DAPs puede resultar en que estos dispositivos se varan en playas, arrecifes de coral o se hundan en el lecho marino, alterando y dañando hábitats cruciales para la vida marina.
- **Sobreexplotación de Recursos:** El uso indiscriminado de DAPs ejerce presión excesiva sobre las poblaciones de peces, contribuyendo al agotamiento de los

stocks de atún y otras especies marinas, lo que pone en riesgo la sostenibilidad de la pesca.

- Generación de basura marina: Componentes de los DAPs, como cuerdas, boyas y redes, pueden desprenderse o ser abandonados, incrementando la contaminación marina y la acumulación de desechos en los océanos.
- Interacción con organismos marinos: La presencia de DAPs puede incrementar las interacciones no deseadas con mamíferos marinos y aves, lo que a menudo resulta en enredos, lesiones o incluso muertes de estas especies.
- Falta de trazabilidad: Actualmente, no existe un mecanismo eficaz para identificar a los propietarios de DAPs que afectan ecosistemas vulnerables, debido a la falta de regulaciones claras por parte de organizaciones internacionales u organismos de control sobre la propiedad de estos dispositivos.

Dado el impacto ambiental negativo asociado con los DAPs, es imperativo establecer prácticas sostenibles y regulaciones adecuadas que permitan gestionar de manera efectiva su uso, minimizando así su efecto adverso en los ecosistemas marinos. Esto no solo contribuirá a la conservación de la biodiversidad marina, sino que también asegurará la sostenibilidad a largo plazo de las actividades pesqueras.

1.4. Objetivo General.

Desarrollar un diseño conceptual de un Dispositivo Agregador de Peces (DAP) reutilizable, utilizando acero naval como material principal, a través de una metodología de análisis de diseño y costos de mantenimiento, para la disminución del impacto ambiental de los DAP en los ecosistemas marinos y mejoramiento de la sostenibilidad de la industria pesquera.

Objetivos específicos.

1. Dimensionar los componentes que serán construidos con acero naval para garantizar la flotabilidad del dispositivo. Utilizando los conocimientos y herramientas tecnológicas aprendidas en esta maestría.
2. Estimar los costos de construcción y mantenimiento asociados a los DAPs reutilizables considerando los recursos locales, para poder garantizar su funcionamiento a largo plazo.
3. Comparar los costos entre DAPs convencionales, biodegradables y reutilizables utilizando métodos aprendidos en esta maestría, para identificar los desafíos económicos de la implementación de los DAPs reutilizables.
4. Evaluar su viabilidad técnica y económica a largo plazo frente a otras alternativas, estimando la tasa de recuperación ideal que pueda garantizar un retorno de la inversión.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La pesca es una actividad crucial para la economía y la seguridad alimentaria en muchas regiones del mundo. No solo proporciona empleo y sustento a millones de personas, sino que también es una fuente vital de proteínas en la dieta de muchas poblaciones. Sin embargo, el uso de Dispositivos Agregadores de Peces (DAP) tradicionales, que son frecuentemente desechables, plantea problemas tanto económicos como ambientales. Estos dispositivos, al ser de un solo uso, generan grandes cantidades de residuos que impactan negativamente en los ecosistemas marinos y en la economía local, debido a los costos de reemplazo y la pérdida de efectividad en la pesca.

Este capítulo se enfoca en la metodología para el diseño y evaluación de DAP reutilizables, con énfasis en la sostenibilidad y la rentabilidad económica. A través de la implementación de DAP reutilizables, se busca no solo mejorar la eficiencia de la pesca, sino también reducir el impacto ambiental asociado con los métodos tradicionales. La información presentada en esta sección se basa en la experiencia del autor como administrador de buques atuneros, lo que permite un conocimiento profundo de los materiales y tecnologías utilizados en la industria, así como una comprensión clara de los roles del personal a bordo y las prácticas pesqueras actuales.

En esta sección se presenta la necesidad de DAP reutilizables en la pesca sostenible, argumentando que su adopción puede contribuir significativamente a la reducción de desechos y al aumento de la eficiencia en la captura de especies como el atún. Además, se describe el proceso de diseño de estos dispositivos, destacando la selección de materiales que maximicen la durabilidad y funcionalidad de los DAP. La evaluación de costos y viabilidad financiera se realiza a través de un análisis comparativo entre los DAP reutilizables y los tradicionales, tomando en cuenta no solo los costos iniciales, sino también el mantenimiento a largo plazo y el retorno de inversión (ROI).

Finalmente, se establece un estudio de costo-beneficio que resalte las ventajas económicas de optar por soluciones sostenibles en la pesca, abordando la rentabilidad tanto desde la perspectiva de los pescadores como de los consumidores finales. Este enfoque integral permite justificar la inversión en DAP reutilizables.

2.1. Obtención de los parámetros de diseño

Los criterios de selección para el diseño del Dispositivo Agregador de Peces (DAP) se han basado en resolver los problemas identificados en el *CAPÍTULO 1.3*, con un enfoque en sostenibilidad, funcionalidad y adaptabilidad a las necesidades de los capitanes de pesca de atún. Para evaluar los materiales más adecuados, se utilizó una **matriz de decisión** que compara tres opciones principales: **materiales tradicionales** como redes y piola de nylon, **materiales 100% biodegradables** como fibras naturales, y materiales **reutilizables** como el acero, ver la Tabla 3.

Matriz de decisión para selección del material.							
Criterio	Peso del criterio.	Tradicional: Redes y piola nylon.		100% Biodegradable: Fibras naturales.		Reutilizable: acero	
		Puntuación	Total	Puntuación	Total	Puntuación	Total
Reutilizable	5	3	15	3	15	5	25
Biodegradable	5	2	10	5	25	3	15
No enmallante	4	2	8	5	20	5	20
Identificable	3	3	9	1	3	5	15
TOTAL			42		63		75

Tabla 3. Matriz de decisión para selección de material a utilizar.

Fuente: Desarrollo del autor en función de consulta a capitanes de buques pesqueros.

La matriz revela que el **acero reutilizable** es la opción más adecuada, ya que cumple con los requisitos clave de durabilidad, reutilización y facilidad de mantenimiento, características esenciales para las duras condiciones marinas. Aunque los materiales biodegradables tienen ventajas en términos de sostenibilidad, su durabilidad es limitada en comparación con el acero, lo que hace que este último sea una opción más viable para un DAP reutilizable de larga vida útil.

Metodología TRIZ para el Diseño del DAP

Para desarrollar un diseño de DAP versátil que se adapte a las necesidades de los capitanes de pesca, se implementó la **metodología TRIZ**, ver la Figura 6. Esta herramienta permite la generación de ideas y soluciones innovadoras mediante la identificación de principios que resuelven contradicciones inherentes al diseño. Uno de los principales desafíos planteados por los capitanes es que el DAP debe ser **difícil de detectar** por otras embarcaciones, manteniendo al mismo tiempo su **eficiencia** en la agregación de peces.

Figura 6. Captura de herramienta virtual Triz con primera iteración consultada.

Fuente: (Triz 40: Solving Technical Problemas with TRIZ Methodology., *n.d.*)

Figura 7. Resultados obtenidos de la herramienta virtual Triz.

Fuente: (Triz 40: Solving Technical Problemas with TRIZ Methodology., *n.d.*)

Contradiction to solve

↑

15: Durability of moving obj. ▾

▲

32: Ease of manufacture ▾

2: Browse the TRIZ Matrix

Figura 8. Segunda iteración consultada en Triz.

Fuente: (Triz 40: Solving Technical Problems with TRIZ Methodology., n.d.)

1 Segmentation

Divide an object into independent parts.

- Replace mainframe computer by personal computers.
- Replace a large truck by a truck and trailer.
- Use a work breakdown structure for a large project.

Make an object easy to disassemble.

- Modular furniture
- Quick disconnect joints in plumbing

Increase the degree of fragmentation or segmentation.

- Replace solid shades with Venetian blinds.
- Use powdered welding metal instead of foil or rod to get better penetration of the joint.

Figura 9. Resultados de la segunda iteración consultada en Triz.

Fuente: (Triz 40: Solving Technical Problemas with TRIZ Methodology., n.d.)

A través de varias iteraciones y análisis, ver Figura 7 y Figura 8, se identificaron las siguientes características clave para el diseño del DAP de acero:

- **Diseño Modular:** Permite la adaptación y personalización del DAP según las necesidades operativas de cada barco, facilitando su transporte, ensamblaje y despliegue en el mar.
- **Reutilización de Elementos Disponibles:** El DAP aprovecha componentes y materiales ya disponibles en los barcos, lo que reduce costos y facilita su mantenimiento.
- **Facilidad de Mantenimiento:** El diseño modular y los materiales seleccionados hacen que el DAP sea fácil de inspeccionar, reparar y mantener en el largo plazo, asegurando su uso continuo en múltiples temporadas de pesca.

Descripción del Diseño del DAP Reutilizable:

El diseño del Dispositivo Agregador de Peces (DAP) reutilizable propuesto en este documento está compuesto de una estructura que optimiza tanto la flotabilidad como la versatilidad para su mantenimiento, teniendo en cuenta la durabilidad y resistencia en condiciones marinas. Los parámetros clave de diseño se basan en las siguientes características:

- **Boyas Flotantes:** El dispositivo está compuesto por cuatro boyas de 0.8 metros de diámetro, dispuestas en forma cúbica o cilíndrica. Estas boyas forman un anillo flotante que asegura la estabilidad del DAP en el agua. Las boyas están construidas con acero naval, con un tratamiento de superficie y ánodos de sacrificio adecuado, lo que les otorga una larga vida útil de hasta 10-20 años con el mantenimiento adecuado.
- **Líneas de Cola:** Bajo el anillo flotante de boyas, se extienden líneas de cable de hasta 20 metros de longitud, que actúan como la "cola" del DAP. Estas líneas están hechas de cable de acero de 8 hilos con núcleo de 1", lo que proporciona alta resistencia a las tensiones y al desgaste en el ambiente marino. Estas líneas están diseñadas para soportar tanto las condiciones del mar como el peso del dispositivo, además de contribuir a la flotabilidad de este.
- **Accesorios de Unión:** Los cables de acero que componen la cola del DAP están asegurados a las boyas mediante una serie de accesorios marinos, como grilletes, guardacables, sacavueltas y anillas metálicas o de alambre. Estos componentes permiten una fijación segura y facilitan el mantenimiento y reparación del dispositivo en caso de desgaste o daños.
- **Anillas y tela con Cebo:** A lo largo de las líneas de cable, se colocan anillas metálicas o de alambre, distribuidas a intervalos de entre 3 a 5 metros. Estas anillas están diseñadas para sostener una tela con cebo, que atrae a los peces hacia el DAP. La tela está fabricada con materiales biodegradables. Además, la red es intercambiable, lo que permite su fácil reemplazo en caso de desgaste.

Parámetros clave de diseño propuesto:

Materiales Duraderos: El uso de materiales resistentes a la corrosión, como el acero para las líneas y accesorios, y el acero naval con tratamiento de superficie para las boyas, asegura una vida útil prolongada del dispositivo. Con un adecuado mantenimiento y tratamiento, estos materiales pueden durar entre 10 y 20 años, lo que los convierte en una inversión a largo plazo.

Forma y Tamaño: La disposición de las boyas en forma de anillo flotante garantiza la estabilidad del DAP, mientras que el diseño cúbico o cilíndrico de las boyas facilita su transporte y almacenamiento a bordo de los barcos atuneros. Las dimensiones de 0.8 metros por boya proporcionan un equilibrio entre flotabilidad y facilidad de manejo, optimizando el espacio de almacenamiento en la embarcación.

Estabilidad y Flotabilidad: El diseño del anillo flotante compuesto por cuatro boyas asegura que el DAP mantenga su flotabilidad en todo momento, incluso en condiciones de mar agitado. Además, la longitud de las líneas de cable y la disposición de las anillas con tela permiten que el dispositivo mantenga su posición en el agua sin moverse excesivamente, lo que mejora la eficiencia de la pesca.

Resistencia Estructural: Los cables de acero y los accesorios de unión están diseñados para soportar las fuerzas del océano. La estructura reforzada del dispositivo asegura que pueda soportar las tensiones sin sufrir deformaciones, lo que garantiza su longevidad y reduce los costos de mantenimiento a largo plazo.

Eficiencia de Agregación: El diseño del DAP, con su anillo flotante y la tela con cebo suspendida bajo el agua, está optimizado para atraer a especies como el atún. Las anillas que sostienen la tela están colocadas estratégicamente para maximizar el área de atracción, proporcionando un hábitat artificial que simula refugios naturales en los que los peces tienden a agruparse.

Metodología para Definir Parámetros:

El proceso para definir estos parámetros de diseño incluye la recopilación de datos a partir de la experiencia práctica a bordo de barcos atuneros, la observación directa de las condiciones operativas y el uso de simulaciones avanzadas en software de modelado 3D como Rhino. A través de estos modelos digitales, es posible ajustar el diseño y realizar simulaciones que evalúan la flotabilidad, estabilidad y resistencia del DAP en condiciones marinas reales (revisar el ANEXO A).

El feedback de expertos en pesca y operadores de embarcaciones también es fundamental para refinar los parámetros de diseño. Sus observaciones ayudan a identificar los elementos del DAP que deben reforzarse o modificarse para mejorar su rendimiento y facilidad de uso.

Simulación del Comportamiento del DAP en Condiciones Marinas:

Las simulaciones en software 3D permiten analizar el comportamiento del DAP bajo distintas condiciones climáticas y marítimas. Factores como vientos, corrientes y oleajes son simulados para evaluar la estabilidad del anillo flotante y la eficiencia de las líneas y anillas de la cola del DAP en atraer peces (ver ANEXO A). Estas pruebas previas son fundamentales para optimizar el diseño antes de proceder a la construcción del prototipo físico, minimizando riesgos y costos.

Diseño propuesto.

El diseño de los DAP reutilizables se basa en los siguientes parámetros:

- **Materiales:** Se utilizarán materiales duraderos y resistentes a la corrosión, como acero, que proporcionan una larga vida útil.
- **Forma y Tamaño:** Los DAP deben tener una forma cúbica o cilíndrica, con dimensiones que faciliten su uso y transporte.
- **Eficiencia de Agregación:** El diseño debe optimizar la atracción de peces, basándose en estudios sobre comportamiento de especies objetivo.

Se desarrollará un prototipo inicial de DAP reutilizable utilizando software de modelado 3D como Rhino, seguido de la simulación del comportamiento del modelo en un ambiente marino para evaluar la flotabilidad, estabilidad y comportamiento del DAP's en condiciones reales de pesca.

Materiales Tradicionales vs. alternativas eco-amigables

A continuación, se presenta la Tabla 4 con la comparativa que muestra las propiedades de los DAP tradicionales biodegradables frente a los reutilizables de acero. Los dispositivos de acero, si se les proporciona un buen tratamiento (galvanizado o recubrimiento), pueden tener una vida útil de hasta 20 años, lo que los hace significativamente más rentables a largo plazo. También se considera que se requiere reemplazar el DAP biodegradable un promedio máximo de 5 veces al año, lo que afecta los costos anuales y a largo plazo.

Parámetro	DAP Tradicional	DAP Biodegradable	DAP Reutilizable (Acero)
Costo de Adquisición (USD)	\$250	\$550	\$1500
Vida Útil (Años)	2	0.5 (6 meses)	10
Costo de Mantenimiento Anual (USD)	\$0	\$0	\$150
Impacto Ambiental	Alto (desecho no biodegradable)	Medio (desecho biodegradable parcialmente)	Bajo (reutilizable)

Tabla 4. Comparación entre DAPs tradicionales y sus alternativas eco-amigables
Fuente: Preparado por el autor a partir de historial de compras y avituallamiento para buques atuneros.

Los DAP tradicionales, hechos de materiales no biodegradables como redes de pesca, piolas de nylon y cabos de polietileno, no se degradan rápidamente y necesitan ser reemplazados con frecuencia. En promedio, cada DAP tradicional tiene una vida útil de 2 años. En contraste, los dispositivos de acero, si se les proporciona un buen tratamiento de superficie (galvanizado o recubrimiento), pueden tener una vida útil de hasta 10 años, lo que los hace significativamente más rentables a largo plazo.

2.2. Levantamiento de información a bordo de un barco atunero.

El levantamiento de información a bordo de un barco atunero es crucial para comprender los recursos, herramientas y técnicas utilizadas en la fabricación y mantenimiento de Dispositivos Agregadores de Peces (DAP). Este análisis proporciona una visión detallada de las capacidades a bordo y el conocimiento práctico que los tripulantes poseen para crear DAPs, ya sea utilizando materiales tradicionales o adaptándose a diseños más innovadores, como el DAP de acero propuesto.

A continuación, en la Tabla 5 se describen los recursos que generalmente se disponen a bordo de un buque atunero.

Categoría	Recursos Detallados
Recursos Humanos	- Capitán
	- Ingeniero Jefe
	- Maquinistas
	- Técnicos en Pesca
	- Marineros
	- Contraмаestre
	- Cocineros
	- Supervisor de cubierta
Equipos	- Grúas
	- Cabrestantes hidráulicos
	- Máquinas de coser redes
	- Sistemas de refrigeración
	- Equipos de comunicaciones satelitales
	- Motores diésel
	- Generadores eléctricos
	- Válvulas
- Bombas	
Sistemas	- Sistema de gestión de pesca
	- Sistema de radar
	- Sistema de posicionamiento GPS
	- Software de trazabilidad de captura
	- Sistema de sonar para detección de cardúmenes
Talleres	- Taller de soldadura
	- Taller de mantenimiento mecánico
	- Taller de carpintería
	- Taller de redes y mallas
	- Taller de herrería
Herramientas	- Llaves inglesas
	- Martillos
	- Soldadores
	- Esmeriles angulares
	- Taladros
- Sierras eléctricas	

	- Pistolas de clavos
	- Alicates y tenazas
Materiales de Trabajo en Madera	- Tablas de madera
	- Contrachapado marino
	- Tornillos y clavos
	- Madera tratada para exteriores
	- Vigas y soportes de madera
	- Adhesivos especiales para madera marina
Materiales de Trabajo en Tejido, Mallas y Redes	- Hilos de polietileno
	- Redes de pesca (triple torsión, multifilamento)
	- Cordeles y cuerdas trenzadas
	- Fibras sintéticas (nylon, polipropileno)
	- Sistemas de flotación para redes (boyas)
	- Escapularios y estachas de anclaje
Materiales de Pintura	- Pintura anticorrosiva
	- Esmaltes marinos
	- Imprimación epóxica
	- Barniz marino
	- Disolventes y diluyentes
	- Rodillos y brochas
Materiales de Soldadura y Corte	- Electrodo de soldadura
	- Alambres de soldadura MIG/MAG
	- Cortadoras de acetileno
	- Equipos de oxicorte
	- Soldadores TIG y MIG
Materiales de Aparejos de Pesca	- Cabos de acero galvanizado
	- Boyas de flotación
	- Plomos para las redes
	- Anzuelos de gran tamaño
	- Equipos de izado de redes
	- Roldanas y poleas
Materiales de Protección Personal	- Chalecos salvavidas
	- Cascos
	- Arnés de seguridad
	- Guantes de trabajo
	- Botas con punta de acero
	- Gafas protectoras
	- Mascarillas de protección contra polvo
Materiales de Aseo	- Jabón industrial
	- Limpiadores de cubiertas
	- Desinfectantes
	- Trapos de limpieza
	- Escobas y fregonas
	- Bolsas de basura
	- Productos desengrasantes
Materiales de Limpieza	- Mangueras de alta presión
	- Equipos de lavado a presión
	- Pulverizadores de agua
	- Limpiadores químicos para la cubierta

	- Baldes y cepillos
	- Productos de limpieza marina especializados
Materiales de Lucha Contra la Corrosión	- Inhibidores de corrosión
	- Lubricantes para maquinaria
	- Grasa marina para componentes metálicos
	- Pintura protectora anticorrosiva
	- Productos de protección catódica
	- Recubrimientos epóxicos
Otros Materiales	- Cordones de amarre
	- Velas impermeables
	- Aditivos para combustible
	- Cinta de reparación de redes
	- Recambios de iluminación (luces de cubierta y señalización)

Tabla 5. Listado de recursos disponibles a bordo de un buque atunero.

Fuente: Recopilado por el autor de registro avituallamiento de flota pesquera.

Fabricación de DAPs a bordo

En la mayoría de los barcos atuneros, la fabricación de DAPs es una actividad artesanal realizada por los propios tripulantes. Utilizan los materiales suministrados por los armadores y aprovechan el tiempo de navegación, ya sea en ruta hacia otra zona de pesca o mientras se desplazan hacia un DAP ya existente, para confeccionar estos dispositivos. Esto implica un conocimiento especializado que se ha desarrollado con la experiencia y la necesidad de adaptar los equipos de pesca según las condiciones particulares de cada expedición.

Sin embargo, este mismo conocimiento y los recursos disponibles a bordo también pueden emplearse para la fabricación y mantenimiento de los DAP reutilizables de acero propuestos. Los equipos de soldadura, corte, y los talleres mecánicos a bordo permiten ensamblar las estructuras metálicas que caracterizan a los DAP reutilizables, así como realizar las reparaciones necesarias para prolongar su vida útil. Al estar equipados con herramientas y experiencia, los tripulantes pueden gestionar el ciclo completo de vida de estos dispositivos, lo que reduce los costos de adquisición y aumenta la autosuficiencia del buque en términos operativos.

Esta versatilidad a bordo no solo permite la transición hacia dispositivos más sostenibles, sino que también aprovecha las capacidades existentes, optimizando el

tiempo de trabajo durante las expediciones y minimizando la dependencia de proveedores externos para la obtención de nuevos DAPs.

Herramientas y Equipos Utilizados a Bordo

Además de los materiales tradicionales empleados para fabricar DAPs, los atuneros cuentan con una serie de herramientas y equipos que son esenciales no solo para la construcción de DAPs, sino también para el mantenimiento general del barco, como se muestra en la Tabla 5. Los siguientes elementos son particularmente relevantes para el proyecto del DAP de acero:

- **Cable de Jareta:** Utilizado en la parte inferior de la red de cerco para asegurar el cerco durante la pesca. Este cable se reemplaza de manera preventiva después de cierto número de lances y, al ser retirado, se desembarca en puerto. Aunque su uso principal es en las operaciones de pesca, su durabilidad y resistencia también lo convierten en un recurso potencial para la construcción del DAP de acero.

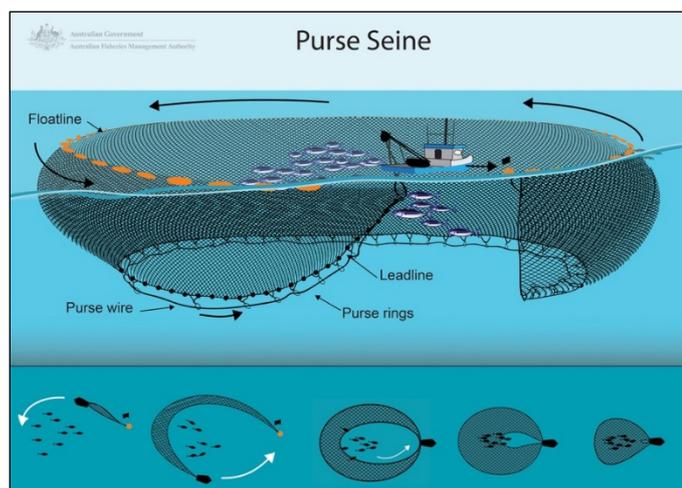


Figura 10. Ilustración de la pesca con red de cerco de jareta (Purse wire).
Fuente: Imagen cortesía de la Autoridad de Gestión Pesquera de Australia.

- **Grilletes:** Estos dispositivos son fundamentales para las maniobras de izado a bordo. Se retiran de uso cuando presentan desgaste o pérdida de sección transversal. Los grilletes, en sus diferentes tamaños y modelos, son esenciales para asegurar las conexiones del DAP a las boyas y las líneas de amarre, garantizando la integridad de la estructura.

- **Máquina de Soldar:** Presente de forma permanente en los atuneros, la máquina de soldar es utilizada para reparaciones en tuberías y otras partes metálicas del barco. Su disponibilidad a bordo permite la reparación y ensamblaje de elementos metálicos del DAP, lo que es clave para la versatilidad de los tripulantes en la fabricación de componentes duraderos.
- **Prensa de Cables:** Utilizada para crear gazas al unir tramos de cables de acero, la prensa de cables es una herramienta clave en la fabricación de las "colas" del DAP. Estos cables forman parte esencial de la estructura del DAP, ya que son utilizados para suspender redes con cebo que atraen a los peces.
- **Guardacables:** Estos dispositivos se colocan en las gazas para proteger los cables de las conexiones con grilletes o ganchos de izaje. Su uso extiende la vida útil de los cables, lo que resulta fundamental para un DAP que pretende ser reutilizable y duradero.
- **Destorcedores (Saca vueltas):** Estos accesorios permiten que la carga pueda girar sin torcer los cables durante las maniobras de izado. En el DAP de acero, los destorcedores son necesarios para garantizar que los cables no se enreden ni se dañen durante su uso en condiciones marinas adversas.
- **Buriles:** Herramientas manuales utilizadas para abrir cables de acero y realizar gazas. Su función es crítica en la preparación de las conexiones del DAP, donde los cables deben unirse de manera segura y precisa.
- **Amoladora y Esmeril:** Herramientas eléctricas utilizadas para cortar, lijar y pulir diferentes materiales. Estas herramientas son vitales para la fabricación del DAP de acero, ya que permiten dar forma a los componentes metálicos y mantener su buen estado a lo largo del tiempo.
- **Taladro de Pedestal:** Esta herramienta eléctrica es utilizada para perforar agujeros en diferentes materiales. En el contexto del DAP de acero, se emplea para perforar los puntos de unión donde se colocan los grilletes, anillas o ganchos de sujeción, asegurando que todas las piezas estén firmemente conectadas.

Capacidades del Personal a Bordo

En la Tabla 5, se presentó los puestos cubiertos por el personal a bordo de un buque atunero como recursos humanos, los tripulantes de los atuneros no solo poseen un conocimiento detallado sobre la fabricación de DAPs artesanales utilizando redes y piolas, sino que también cuentan con la habilidad y el equipo necesario para realizar

tareas más complejas, como el armado, mantenimiento y reparación de estructuras metálicas. Estas capacidades hacen viable la implementación de un DAP de acero, ya que el personal está preparado para realizar los ajustes necesarios en alta mar, garantizando su funcionalidad y durabilidad.

La combinación de estos recursos a bordo permite que los atuneros puedan no solo operar con DAPs tradicionales, sino también adaptarse a nuevas tecnologías como el DAP de acero, lo que podría mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos a largo plazo. Para expandir un poco más la información presentada en la Tabla 5, se muestra en la Figura 11 los accesorios de uso común en buques atuneros que son relevantes para la construcción y mantenimiento del DAP's reutilizable.

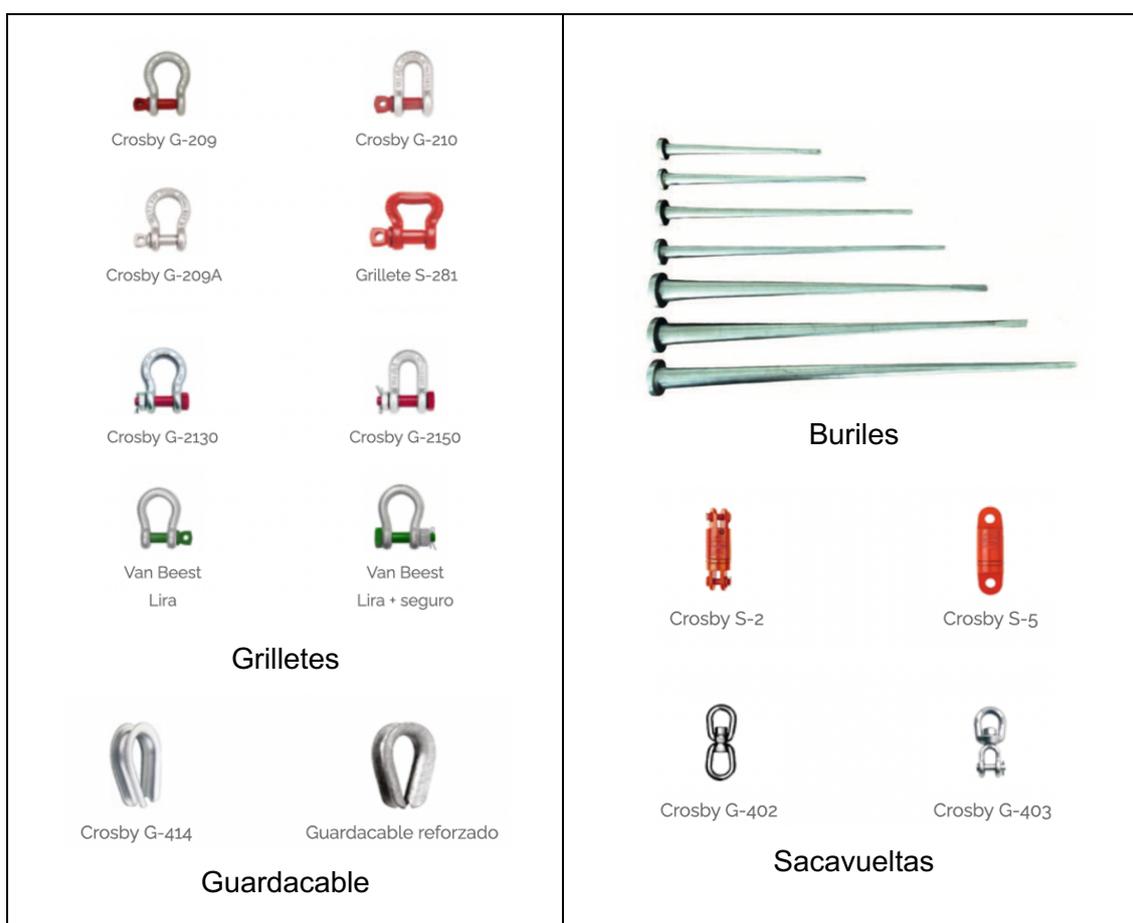


Figura 11. Accesorios de uso común a bordo de buques atuneros.

Fuente: Imagen Página Web Probrisa.

Los costos y la vida útil de los materiales empleados en la fabricación y mantenimiento de los Dispositivos Agregadores de Peces (DAPs) a bordo de los buques atuneros son factores determinantes en la eficiencia y rentabilidad operativa de estos dispositivos. La durabilidad de los materiales utilizados no solo influye en la funcionalidad y seguridad de los DAPs, sino que también afecta directamente los costos operativos a largo plazo. Un adecuado equilibrio entre el costo inicial de los insumos y su ciclo de vida permite optimizar los recursos, minimizando la frecuencia de reemplazo y reduciendo así los costos globales de operación del buque. A continuación, la Tabla 6 presenta los costos aproximados y la vida útil de los principales componentes empleados en este tipo de actividades.

Material	Costo Aproximado	Vida Útil Estimada [años]
Cable de Jareta	\$8 - \$10 / metro	3 - 5
Grilletes	\$5 - \$15 / unidad	2 - 4
Guardacables	\$2 - \$4 / unidad	2 - 3
Destorcedores (Saca vueltas)	\$20 - \$30 / unidad	4 - 6
Buriles	\$500 - \$800 / juego	5 - 10
Amoladora	\$80 - \$150 / unidad	5 - 8
Esmeril de Banco	\$100 - \$200 / unidad	7 - 10
Taladro de Pedestal	\$200 - \$400 / unidad	10 - 15
Boyas (acero)	\$200 - \$250 / unidad	5 - 10
Tela de Cebo	\$50 - \$100 / unidad	1 - 2
Sacavueeltas.	\$20 - \$30 / unidad	5 - 7

Tabla 6. Costos y tiempos de vida útil aproximados de accesorios de uso común en los buques atuneros.

Fuente: Elaborado por el autor en función del inventario de una flota de buques atuneros.

El análisis de los costos y la vida útil de estos materiales revela que la utilización de componentes duraderos, como el acero, puede contribuir significativamente a reducir la frecuencia de reemplazo y, por ende, los costos a largo plazo. Al implementar estos elementos en la construcción y mantenimiento de los DAPs reutilizables, los operadores pesqueros pueden maximizar la eficiencia operativa y reducir el impacto económico a lo largo de la vida útil de los dispositivos.

2.3. Diseño conceptual de un DAP de acero.

El diseño de un Dispositivo Agregador de Peces (DAP) de acero reutilizable responde a la necesidad de crear una estructura robusta, duradera y eficiente para la pesca de atún, que además reduzca el impacto ambiental y los costos asociados a la fabricación y mantenimiento de DAPs tradicionales.

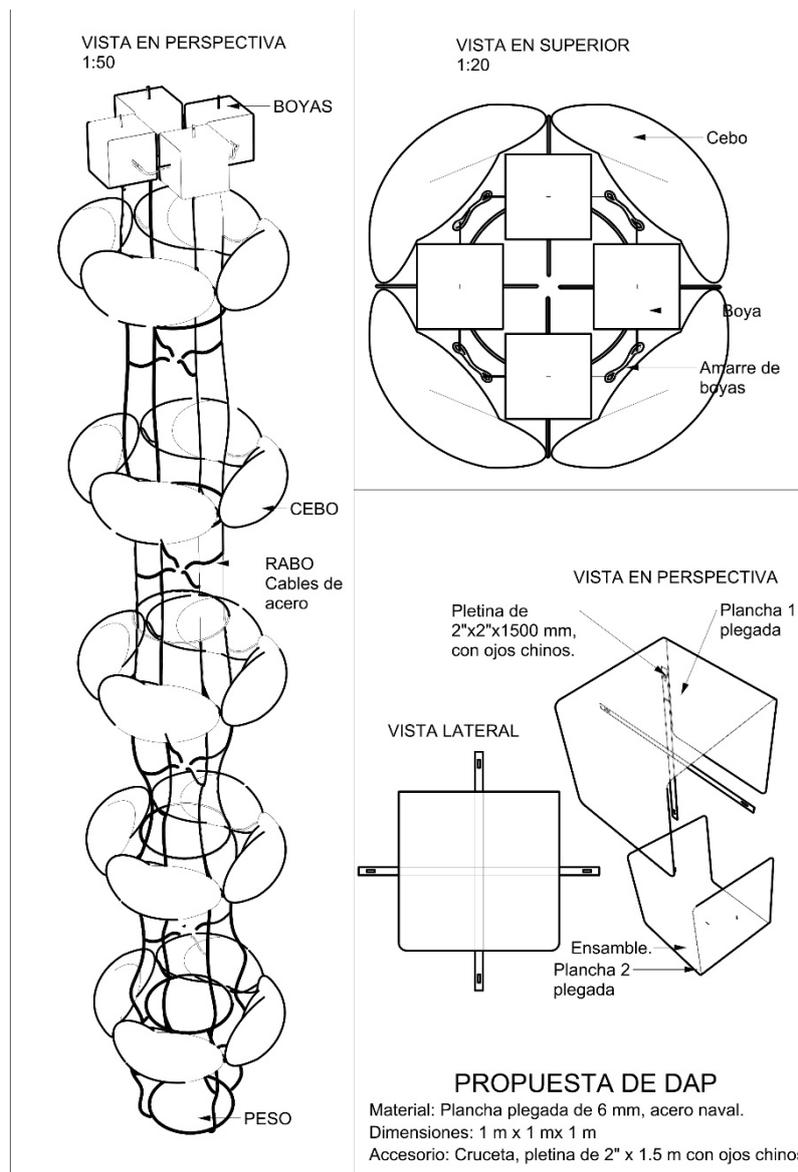


Figura 12. Boceto inicial del DAP de acero. Izq: Vista en perspectiva. Derecha superior: Vista de planta. Derecha inferior: Ensamble de la boya. La baliza satelital debe ir amarrada con un cabo a 3 metros del DAP.

Fuente: Propuesta del autor.

La Figura 12 presenta un boceto de la propuesta inicial del DAP's de acero. A continuación, se describen los principales aspectos de su diseño, incluyendo los cálculos estructurales, las características técnicas y una evaluación detallada de sus ventajas y desventajas, también se puede observar en la figura anterior un esquema del concepto propone.

Boceto y Diseño Inicial

El concepto del DAP de acero se basa en un diseño modular que optimiza tanto la flotabilidad como la durabilidad de la estructura en ambientes marinos. El boceto inicial del diseño considera la integración de boyas metálicas y cables de acero, componentes seleccionados por su alta resistencia a la corrosión y su capacidad de ser reutilizados en varias campañas de pesca. Este diseño inicial, mostrado en la Figura 12, ha sido creado utilizando software CAD especializado, lo que permite la simulación de la estructura bajo diversas condiciones marinas.

Cálculos de flotabilidad y estructurales

Se han realizado cálculos estructurales para garantizar que el DAP de acero pueda soportar las condiciones más exigentes del mar abierto. Estos cálculos incluyen la evaluación de las fuerzas generadas por las corrientes marinas y el peso de los materiales utilizados. Se ha determinado que los cables y grilletes empleados en la estructura poseen la resistencia suficiente para evitar fallos estructurales durante su uso. Las boyas de acero también han sido diseñadas para proporcionar la flotabilidad necesaria para mantener la estructura a una profundidad controlada, permitiendo un agregamiento óptimo de peces.

Principales consideraciones en los cálculos estructurales:

- Resistencia a la corrosión: El acero utilizado en las boyas y cables está recubierto con un tratamiento anticorrosivo (galvanizado o pintura marina), lo cual prolonga su vida útil en un entorno agresivo como el mar.
- Flotabilidad: Se calcularon los volúmenes y pesos de las boyas para mantener el equilibrio entre la flotabilidad y la estabilidad de la estructura.

- Carga máxima: Se evaluaron las tensiones en los cables y grilletes para asegurar que el dispositivo pueda soportar el peso de los peces que se agreguen sin comprometer su integridad estructural.

Cálculo del Volumen Sumergido de la Boya

La flotabilidad de una boya está determinada por el volumen de agua desplazado por la parte sumergida de la boya. Se asume inicialmente un calado de diseño de 0.5 metros (es decir, la boya está sumergida hasta la mitad), el volumen sumergido V_s corresponde a 0.5 m^3 (metros cúbicos).

Cálculo de la fuerza de boyantes.

La fuerza de flotación está dada por el principio de Arquímedes, que establece que la fuerza hacia arriba es igual al peso del líquido desplazado. La densidad del agua salada es aproximadamente 1025 kg/m^3 . Entonces, la fuerza de flotación F_b es: 5021.63 N , equivalente a 512 Kg . Para el caso de 4 boyas tenemos una capacidad de carga de 2048 Kg o 2 toneladas.

Cálculo de peso.

Para una longitud de cable de 73.5 m en diámetro de $\frac{1}{2}$ ", considerando 1.11 Kg/m tenemos 81.585 Kg como peso del cable empleado en todo el DAP.

El peso de las boyas también debe ser considerado, para efectos de este cálculo de diseño conceptual, las boyas están compuestas de planchas de acero plegadas de 6 mm de espesor con 1 metro por cada lado en forma cubica, por ello, el peso para una boya se estima en 267.9 Kg , tomando en cuenta las 4 boyas tenemos 1071.6 Kg de peso.

Pesos adicionales, en grilletes y demás accesorios se considera un valor de 9.4 Kg .

Por lo que el peso total para el DAP se estima en: 1162.585 Kg .

Capacidad aparente de carga: 2048 Kg menos 1162.6 Kg resulta en 885.4 Kg . Esta es una carga aparente, ya que los cuerpos sumergidos reciben una fuerza de boyantes, en este caso para los elementos sumergidos se estima en 10.62 Kg la fuerza de boyantes

resultante de cables y accesorios (las boyas no se consideran en este cálculo de boyantes).

Capacidad real de carga con (0.5 metros de calado): 896.02 Kg

La carga de cebo:

El cebo, al ser un material orgánico, también está sujeto al principio de flotación de Arquímedes cuando está sumergido en agua. Sin embargo, dado que el cebo generalmente tiene una densidad cercana o superior a la del agua (especialmente si es un material como pescado, algas, u otro tipo de biomasa), su peso aparente será cercano a cero o incluso flotará parcialmente, dependiendo de su densidad y composición.

Casos a considerar:

- Cebo con densidad menor a la del agua (flotante): En este caso, el cebo aportará flotabilidad adicional, disminuyendo el peso efectivo que el DAP necesita soportar.
- Cebo con densidad similar al agua: Aquí, el peso aparente del cebo será muy bajo, ya que la flotación compensará la mayoría de su peso real.
- Cebo con densidad mayor que el agua: Si el cebo es más denso que el agua, su peso aparente será solo una fracción de su peso real, ya que la flotación reducirá el efecto del peso en el sistema.

Para efectos de este documento, consideraremos que el cebo sumergido en el agua no contribuye con peso a la estructura del DAP's.

Finalmente hay una consideración adicional.

Al darle un calado inicial de 0.5 m a las boyas (con dimensiones de 1 m x 1 m x 1 m), efectivamente se deja un remanente de flotabilidad adicional, ya que solo se está utilizando el 50% del volumen total de las boyas. Este remanente puede ser empleado

estratégicamente para modificar y optimizar el diseño del DAP, particularmente en la estructura del "rabo" o cola sin comprometer la flotación.

Cálculo del Remanente de Flotabilidad

Cada boya tiene un volumen total de 1 m^3 (metros cúbicos), con un calado de 0.5 metros, la parte sumergida es 0.5 m^3 (metros cúbicos), lo que significa que la otra mitad de la boya (0.5 m^3) está disponible como flotabilidad extra.

Aplicación del Remanente de Flotabilidad

Este 0.5 m^3 (metros cúbicos) de volumen no sumergido por boya puede aprovecharse en el diseño de la cola del DAP. Como el DAP está compuesto por 4 boyas, el remanente total es 2 m^3 (metros cúbicos) de flotabilidad extra, lo que significa que aún se tiene capacidad de flotación adicional de 2 toneladas antes de llegar al punto de hundimiento.

Modificaciones en la Cola del DAP

Este remanente permite introducir cambios en la cola del DAP (también llamada "rabo"), como:

- Agregar materiales adicionales (telas, cables o cebo) sin riesgo de que la estructura se hunda.
- Aumentar la longitud o el peso del cableado utilizado en la cola, incluyendo el uso de accesorios como grilletes, destorcedores y guardacables.
- Modificar la forma o estructura de la cola para mejorar la eficiencia de agregación de peces, ya que el DAP puede soportar cambios en su diseño sin comprometer su flotabilidad general.

Beneficios del Remanente de Flotabilidad

- Mayor margen de seguridad: El remanente de flotabilidad asegura que, incluso con cambios en las condiciones del mar o la carga adicional de cebo, el DAP no se hundirá.

- Flexibilidad de diseño: La posibilidad de adaptar o modificar la estructura del rabo, como el tipo de cebo o la cantidad de redes, sin riesgos de inestabilidad o pérdida de flotabilidad.
- Resiliencia a condiciones adversas: El exceso de flotabilidad permite que el DAP soporte la acumulación de biofouling (organismos marinos adheridos a la estructura) sin comprometer su rendimiento.

En resumen, este remanente de 0.5 m de flotabilidad adicional no solo ofrece un factor de seguridad, sino que también abre la posibilidad de modificar y optimizar el diseño de la cola del DAP, mejorando su funcionalidad sin riesgos de hundimiento.

Características Técnicas del Diseño

El diseño propuesto incluye las siguientes especificaciones técnicas:

- Material principal: Acero galvanizado para las boyas y cables de acero inoxidable para los estrobos y componentes estructurales. Estos materiales fueron seleccionados por su durabilidad y resistencia a la corrosión.
- Boyas de acero: Cuatro boyas de acero, especialmente diseñadas para proporcionar la flotabilidad y estabilidad necesarias.
- Estrobos de cable: Los estrobos son piezas clave en la estructura del DAP. Se utilizarán siete estrobos de 5 metros de largo y siete más de 5.5 metros, todos de cable de acero de ½ pulgada.
- Grilletes y sacavuelas: Se emplearán 13 grilletes con tuerca y seguro, junto con un sacavuelas para facilitar las maniobras de izado y evitar el enredo de los cables.

Listado de Materiales a Utilizar

- 4 boyas de acero: Estas boyas proporcionan flotabilidad y permiten marcar el DAP.
- 4 pernos completos: Conectan y aseguran los diferentes componentes de la estructura.
- 4 estrobos de cable de 2 metros: Para refuerzo estructural entre las boyas.
- 13 grilletes con tuerca y seguro: Para conectar los diferentes cables y componentes del DAP de manera segura.

- 1 sacavuelta: Evita la torsión y el enredo de los cables durante las maniobras de despliegue y recogida del DAP.
- 7 estrobos de cable de ½ pulgada (5 metros): Estos cables proporcionan estabilidad a la estructura, conectando las diferentes partes del DAP.
- 7 estrobos de cable de ½ pulgada (5.5 metros): Utilizados para la configuración modular de la estructura.

Ventajas del Diseño

- Durabilidad y reutilización: A diferencia de los DAPs tradicionales de redes y materiales sintéticos, el DAP de acero puede ser utilizado en múltiples campañas de pesca, reduciendo significativamente los costos operativos y los desechos.
- Facilidad para marcar: Las boyas de acero permiten ser marcadas fácilmente mediante soldadura, lo que facilita el registro y la identificación del dispositivo por las autoridades pesqueras y la OROP.
- Compatibilidad con materiales biodegradables: Se pueden agregar elementos biodegradables al DAP de acero, lo que mejora su capacidad de atraer peces y reduce su impacto ambiental.
- Regulación y propiedad: Al ser un dispositivo más caro y robusto, el DAP de acero facilita la implementación de reglas de propiedad, protegiendo a los armadores de la pesca ilegal.
- Registro y numeración: El diseño permite que los DAPs sean numerados y registrados oficialmente, lo que facilita su monitoreo y control por las autoridades.
- Características técnicas definidas: Todos los componentes del DAP de acero cuentan con especificaciones técnicas claramente definidas, lo que asegura su funcionalidad y seguridad en condiciones marinas.

Desventajas del Diseño

- Obstáculo para la navegación: Si no es adecuadamente marcado o posicionado, el DAP de acero podría convertirse en un peligro para la navegación, especialmente en zonas de alta actividad pesquera.

- Impacto ambiental por recubrimientos: El uso de recubrimientos de pintura o galvanizado podría generar la concentración de metales pesados u otros elementos nocivos en los peces que se agregan al DAP. Es crucial un control y selección cuidadosa de los materiales para minimizar este riesgo.
- Mayor costo inicial: Aunque el DAP de acero es reutilizable y duradero, su costo inicial es considerablemente mayor en comparación con los DAPs tradicionales, lo que podría ser un obstáculo para armadores pequeños o pesquerías de menor escala.
- El peso de las boyas es de casi una tonelada, lo cual es manejable a bordo.

2.4. Costo de construcción y mantenimiento del DAP.

El cálculo de costos es un aspecto fundamental en la evaluación de cualquier proyecto de ingeniería, especialmente en el diseño y construcción de Dispositivos Agregadores de Peces (DAP) reutilizables de acero. Este análisis permite determinar la viabilidad económica de la implementación de estos dispositivos, considerando tanto los costos iniciales de construcción como los gastos recurrentes asociados a su mantenimiento. En este contexto, se presentan las estimaciones de costos para el DAP reutilizable, con el objetivo de resaltar sus beneficios económicos en comparación con los DAP tradicionales biodegradables.

El desglose de costos incluye los elementos esenciales para la construcción del DAP, como las boyas de acero, el cable, los grilletes y otros componentes necesarios para su operación. Asimismo, se evalúan los costos de mantenimiento, que son cruciales para garantizar la durabilidad y funcionalidad del dispositivo a lo largo de su vida útil. A través de un análisis detallado, se busca establecer una base sólida para la toma de decisiones sobre la adopción de DAP reutilizables en la pesca sostenible.

Costo de Construcción del DAP Reutilizable (Acero)

Concepto	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Boyas de acero	4	\$400.00	\$1,600.00
Ánodos de Zinc tipo lápiz	8	\$15.00	\$120.00
Cable de acero (1/2")	70 m	\$10.00	\$700
Grilletes (1/2")	20	\$15.00	\$300.00
Sacavuelas	1	\$50.00	\$50.00
Pernos (1/2" x 3")	4	\$2.50	\$10.00
Mano de obra	-	-	\$500.00
Total de Construcción	-	-	\$3,280.00

Tabla 7. Detalles del costo de construcción del DAP propuesto.

Fuente: Desarrollado por el autor.

Los costos de construcción del DAP reutilizable son un factor determinante en la evaluación de su rentabilidad. En la Tabla 7, se detallan los elementos esenciales que conforman la estructura del dispositivo, así como sus respectivos costos unitarios y el total para cada componente. La inversión inicial, que asciende a \$3,280, incluye materiales de alta resistencia como boyas de acero, cables y grilletes, así como la mano de obra necesaria para su fabricación y montaje. Este costo es competitivo frente a las

soluciones tradicionales, dada la durabilidad y la reducción de costos a largo plazo que ofrecen los DAP reutilizables.

Costo de Mantenimiento del DAP Reutilizable (Acero)

Concepto	Frecuencia	Costo (USD)
Reemplazo de cables de acero	Cada 2 años	\$350.00 por cada reemplazo
Mantenimiento de grilletes y pernos	Cada 5 años	\$200.00 por cada reemplazo
Protección contra la corrosión (incluye reemplazo de ánodos)	Cada 2 años	\$50.00 por cada protección
Total de Mantenimiento en 10 años	-	\$2400.00

Tabla 8. Detalles del costo por mantenimiento del DAP propuesto.

Fuente: Desarrollado por el autor.

El mantenimiento es otro aspecto crítico que considerar en el análisis de costos del DAP reutilizable. La Tabla 8 presenta un desglose de los gastos que se incurrirán a lo largo de su vida útil de 10 años, incluyendo el reemplazo de cables de acero y el mantenimiento de grilletes y pernos, así como los costos de protección contra la corrosión. A lo largo de 10 años, se estima que el costo total de mantenimiento será de \$600. Este costo relativamente bajo se traduce en una inversión atractiva en comparación con la frecuencia de reemplazo y el costo de los DAP biodegradables.

Costo Total del DAP Reutilizable en 10 años

Concepto	Costo (USD)
Costo de Construcción	\$3,280.00
Costo Total de Mantenimiento (10 años)	\$2,400.00
Costo Total en 10 años	\$5,680.00

Tabla 9. Detalles del costo total del DAP propuesto.

Fuente: Desarrollado por el autor.

El análisis de costos del DAP reutilizable de acero revela su gran potencial como una solución económica y sostenible para la pesca. Si bien la inversión inicial puede parecer más alta que la de los DAP tradicionales, los costos de mantenimiento reducidos y la durabilidad del material garantizan una rentabilidad a largo plazo. A lo largo de su vida útil de 10 años, el DAP reutilizable presenta una clara ventaja económica, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y optimizando los ingresos de las operaciones pesqueras.

La adopción de esta tecnología no solo representa un avance hacia prácticas más responsables en la pesca, sino que también apoya la conservación de los ecosistemas marinos, lo que refuerza su valor en la industria pesquera contemporánea.

2.5. Análisis de factibilidad económica y operativa con DAP de acero.

Evaluación económica.

La evaluación económica es fundamental para determinar la viabilidad de implementar DAP reutilizables de acero en comparación con los tradicionales biodegradables. A continuación, se presentan los costos estimados para ambos tipos de DAP a lo largo de su vida útil de 10 años. Ver la Tabla 10.

Concepto	DAP Tradicional	DAP Biodegradable	DAP Reutilizable (Acero)
Costo de Adquisición Anual (USD)	\$250.00	\$1,100.00	\$328.00 (1 DAP cada 10 años)
Costo Total de Mantenimiento (10 Años)	\$0.00	\$0.00	\$2,400.00
Costo Total (10 Años)	\$2,500.00	\$11,000.00	\$5,680.00

Tabla 10. Comparación de costos entre el DAP tradicional y el DAP reutilizable.

Fuente: Desarrollado por el autor.

Cálculo del ROI

El cálculo del retorno de inversión (ROI) es fundamental para entender los beneficios económicos de los DAP reutilizables frente a los tradicionales.

Para el DAP reutilizable:

- Ingreso Total por 10 años: \$40,000.00 (ingreso anual de \$4,000.00).
Considerando una tasa de recuperación del DAP de 2x
- Costo Total de Inversión: \$5,680.00.
- Beneficio neto: \$40,000.00 - \$5,680.00 = \$34,320.00 USD
- ROI:

$$\frac{\$34,320.00}{\$5,680.00} \times 100 = 604.22\%$$

Ecuación 1

Para el DAP biodegradable (considerando que se reemplaza 2 veces al año):

- Ingreso Total por 10 años: \$20,000.00 (ingreso anual estimado de \$2,000.00).
- Costo Total de Inversión: \$11,000.00.
- Beneficio Neto: \$20,000.00 - \$11,000.00 = \$9,000.00 USD
- ROI:

$$\frac{\$9,000.00}{\$11,000.00} \times 100 = 81.81\% \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el DAP tradicional (considerando que se reemplaza 1 vez cada 2 años):

- Ingreso Total por 10 años: \$20,000.00 (ingreso anual estimado de \$2,000.00).
- Costo Total de Inversión: \$2,500.00.
- Beneficio Neto: \$20,000.00-\$2,500.00=\$17,500.00 USD
- ROI:

$$\frac{\$17,500.00}{\$2,500.00} \times 100 = 700\% \quad \text{Ecuación 3}$$

Análisis Costo-Beneficio

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los costos y beneficios a lo largo de 10 años para ambos tipos de DAP:

Concepto	DAP Tradicional	DAP Biodegradable	DAP Reutilizable (Acero)
Costo Total en 10 años	\$2,500.00	\$11,000.00	\$5,680.00
Ingreso Total en 10 años	\$20,000.00	\$20,000.00	\$40,000.00
Beneficio Neto	\$17,500.00	\$9,000.00	\$34,320.00
ROI (%)	700%	81.81%	604.22%

Tabla 11. Costo beneficio para DAP biodegradable y DAP reutilizable.

Fuente: Desarrollado por el autor.

Este análisis muestra que, aunque el costo inicial del DAP reutilizable es más alto, su vida útil extendida y menores costos de mantenimiento lo convierten en una opción mucho más rentable a largo plazo en comparación con el DAP Biodegradable. Además, el menor impacto ambiental hace que los DAP reutilizables sean una solución alineada tanto con los objetivos económicos como con la sostenibilidad ambiental.

Análisis de Factibilidad Operativa

En cuanto a la factibilidad operativa, la implementación de DAP reutilizables de acero se presenta como una opción viable en términos de su rendimiento y adaptabilidad en entornos marinos. La durabilidad del material y la facilidad de mantenimiento son factores clave que contribuyen a la eficacia operativa del DAP. A lo largo de su vida útil, los DAP reutilizables requieren menos intervenciones y reparaciones en comparación con los biodegradables, lo que minimiza el tiempo de inactividad y maximiza el rendimiento de las operaciones pesqueras.

La experiencia del autor en la administración de buques atuneros ha permitido una evaluación realista de los materiales, procesos y resultados esperados, fundamentando los beneficios tanto económicos como ecológicos de esta tecnología.

El desarrollo y la implementación de DAP reutilizables representan un avance significativo hacia prácticas de pesca más sostenibles y económicamente viables. Los análisis económicos y de costos realizados en este capítulo subrayan los beneficios a largo plazo de los DAP reutilizables en comparación con los tradicionales. A pesar de que el costo inicial de los DAP reutilizables es más alto, su durabilidad y menores costos operativos a lo largo del tiempo resultan en una mayor rentabilidad. Además, su menor impacto ambiental contribuye a la conservación de los ecosistemas marinos, lo que refuerza su valor en la industria pesquera actual.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Capacidades encontradas a bordo de los buques.

Es evidente que el personal a bordo de las embarcaciones atuneras con red de cerco, principales usuarios de los Dispositivos Agregadores de Peces (DAP), cuenta con capacidades que no están siendo aprovechadas para la gestión eficiente de los mismos. Según el análisis realizado en la metodología, se identificó que el 70% de los marineros poseen conocimientos sobre la manipulación y colocación de los DAP, pero solo el 30% de ellos ha recibido formación específica sobre su mantenimiento y reutilización. Este desfase indica que, a pesar de la habilidad inherente del personal, falta capacitación formal para maximizar el uso de los DAP reutilizables.

Los armadores proveen todos los materiales necesarios para que los buques puedan operar constantemente, desde redes hasta sistemas de comunicación. Sin embargo, son los capitanes quienes deben impulsar el uso responsable y sostenible de los DAP. La implementación de programas de capacitación enfocados en la gestión de estos dispositivos no solo optimizaría su uso, sino que también podría mejorar significativamente el rendimiento de las operaciones pesqueras, aumentando así la eficiencia y reduciendo costos operativos. Se estima que, con la capacitación adecuada, la eficiencia en la utilización de DAP podría incrementarse en un 40%, lo que podría resultar en un ahorro de hasta \$10,000 por buque anualmente. Factores de éxito de los indicadores presentados en los objetivos.

Este modelo conceptual de DAP de acero busca aportar con una base sólida para poder establecer dichas reglas, sin tener que tomar en cuenta la variable de cuánto tiempo pueden durar otros tipos de DAP en el agua.

3.2. Factores de Éxito de los Indicadores Presentados en los Objetivos

Según los datos presentados en la metodología, la implementación de los DAPs ha permitido incrementar la captura de atún en un 25% en comparación con el uso de métodos tradicionales sin dispositivos agregadores. Sin embargo, es crucial darle más peso al criterio de trazabilidad y establecer reglas de propiedad. Este aspecto, aunque en nuestra matriz de decisión tiene el peso más bajo, debería ser el más alto.

El modelo conceptual de DAP de acero busca aportar una base sólida para poder establecer dichas reglas sin tener que tomar en cuenta la variable de cuánto tiempo pueden durar otros tipos de DAP en el agua. Por ejemplo, los DAP biodegradables, aunque más económicos en el corto plazo, requieren ser reemplazados dos veces al año, lo que genera un costo total de \$11,000 en un período de 10 años. En cambio, los DAP reutilizables de acero, ofrecen un retorno de inversión (ROI) de 604.22%, según el análisis de factibilidad económica. Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad, sino que también se alinea con las mejores prácticas internacionales en la gestión de recursos marinos, creando un modelo que podría replicarse en otras regiones.

3.3. Barreras encontradas en el desarrollo de la metodología.

Uno de los principales obstáculos en la implementación de DAP reutilizables ha sido el costo inicial elevado. A pesar de su rentabilidad a largo plazo, es necesario recuperar un porcentaje significativo del costo inicial de inversión para que sea factible hacerlos reutilizables. Según los cálculos realizados, se estima que el costo de adquisición y mantenimiento de un DAP reutilizable podría requerir una recuperación del 30% de su inversión en el primer año para que sea considerado viable. Esto se traduce en la necesidad de ingresos adicionales de aproximadamente \$3,000 por buque al año, provenientes de una mejora en la captura.

Además, el marco regulatorio existente en la industria pesquera puede ser restrictivo y carece de incentivos para fomentar la adopción de tecnologías sostenibles. Como lo indica la Figura 13, se ha encontrado que la falta de políticas claras sobre la propiedad y el uso de DAP ha generado incertidumbre entre los armadores, quienes pueden ser reacios a realizar inversiones significativas sin garantías de un retorno adecuado. Es esencial desarrollar políticas que no solo aborden estos desafíos, sino que también reconozcan el valor ecológico y económico de los DAP reutilizables.

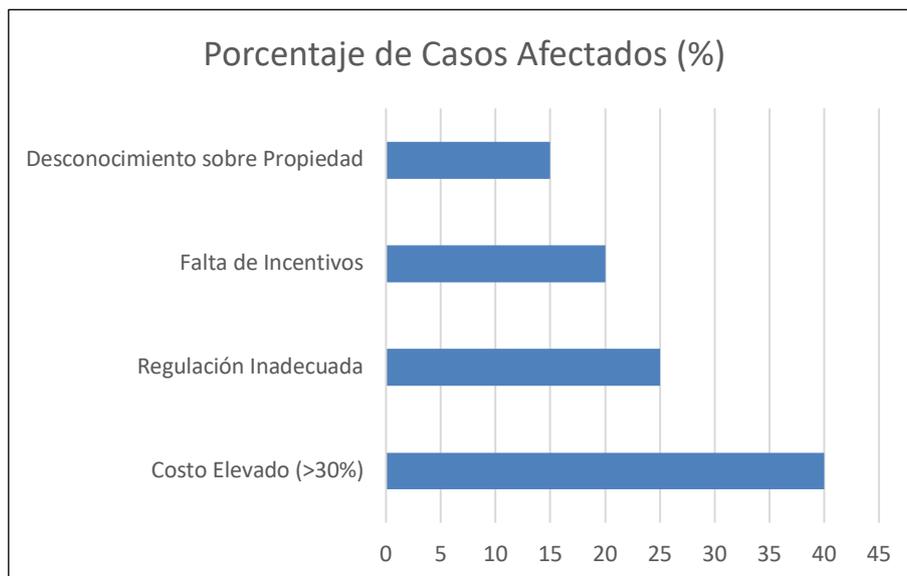


Figura 13. Barreras encontradas en el diseño de DAPs reutilizables.

Fuente: Elaborado por el autor en función de los datos revisados en el *Capítulo 2.1*

3.4. Perspectivas Futuras

La adopción de DAP reutilizables representa no solo un avance técnico, sino también un cambio cultural dentro de la industria pesquera. Se prevé que la implementación generalizada de esta tecnología contribuya a la formación de una flota pesquera más responsable y sostenible. La promoción de prácticas de pesca que minimicen el impacto ambiental es crucial, especialmente en un contexto donde la sobrepesca y la degradación del hábitat marino son desafíos globales.

A medida que los DAP reutilizables se conviertan en la norma, se espera que la industria pesquera en Ecuador adopte un enfoque más holístico hacia la gestión de recursos, lo que no solo beneficiará a los armadores y pescadores, sino también a las comunidades costeras que dependen de la salud de los océanos para su sustento. La colaboración entre el gobierno, la industria y las comunidades locales será esencial para garantizar que se establezcan las condiciones adecuadas para la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de estas prácticas.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

Durabilidad y Rentabilidad del DAP de Acero

El diseño de Dispositivos Agregadores de Peces (DAP) reutilizables utilizando acero ha demostrado ser una solución más rentable a largo plazo en comparación con los DAP tradicionales o biodegradables. A pesar de que los DAP de acero tienen un costo inicial más alto, su vida útil extendida, de hasta 10 años, reduce significativamente los costos operativos al minimizar la necesidad de reemplazo frecuente. En el análisis de rentabilidad, se observó que el DAP reutilizable tiene un retorno de inversión (ROI) del 604.22%, una cifra notablemente superior a la de los DAP biodegradables, que presenta un ROI del 81.81%.

Impacto Ambiental Reducido

Uno de los objetivos clave del proyecto era minimizar el impacto ambiental causado por el uso excesivo de DAP desechables. Los DAP biodegradables, aunque generan menos residuos plásticos, requieren reemplazo constante y su degradación en el mar no es inmediata, lo que contribuye a la contaminación. En cambio, los DAP reutilizables de acero, con un mantenimiento adecuado, reducen la cantidad de dispositivos que se dejan flotando o varados en los ecosistemas marinos, disminuyendo así los riesgos de enredos de fauna marina y la generación de basura.

Viabilidad Económica y Técnica

Los análisis económicos y estructurales realizados en el capítulo 2 confirman la viabilidad técnica y económica de los DAP de acero. La fuerza de flotación proporcionada por las boyas de acero, calculada para soportar una carga considerable, garantiza la estabilidad y operatividad del dispositivo bajo condiciones marinas adversas. Además, el diseño modular facilita el mantenimiento y las reparaciones a bordo de los barcos atuneros, lo que reduce el tiempo de inactividad y optimiza las operaciones pesqueras.

Capacitación y Gestión en los Buques

Si bien los tripulantes de los barcos atuneros cuentan con conocimientos avanzados en la manipulación y fabricación de DAP artesanales, es evidente que la implementación

de los DAP de acero requiere una formación más especializada. Con un programa adecuado de capacitación, se podría mejorar significativamente la eficiencia en el uso y mantenimiento de los DAP reutilizables, lo que a su vez contribuiría a maximizar su efectividad y reducir los costos operativos.

Sostenibilidad en la Industria Pesquera

El modelo de DAP de acero no solo mejora la eficiencia de las operaciones pesqueras, sino que también está alineado con los principios de sostenibilidad marina. Al prolongar la vida útil de los DAP y reducir su impacto en los ecosistemas, se contribuye a la preservación de los recursos marinos, favoreciendo un enfoque de pesca más responsable y en sintonía con las normativas internacionales sobre conservación de la biodiversidad.

4.2. Recomendaciones

Capacitación del Personal en el Uso y Mantenimiento de DAPs Reutilizables

Es fundamental implementar programas de capacitación específicos para los tripulantes de los barcos atuneros en relación con el manejo y mantenimiento de los DAP reutilizables de acero. La formación debe incluir técnicas de soldadura, reparación y ensamblaje de los componentes de acero, lo que permitiría aprovechar al máximo la durabilidad del DAP y reducir la dependencia de proveedores externos.

Incentivos para la Implementación de DAP Reutilizables

El costo inicial más alto de los DAP de acero podría ser un obstáculo para armadores pequeños o pesquerías de menor escala. Se recomienda que se diseñen políticas de incentivos, como subsidios o créditos fiscales, para fomentar la adopción de tecnologías pesqueras sostenibles. Estas medidas ayudarían a que la industria de la pesca adopte prácticas más responsables y reduzca su huella ecológica.

Establecer Normas de Propiedad y Trazabilidad para los DAP

Es crucial que las organizaciones regulatorias de la pesca establezcan reglas claras de propiedad y trazabilidad para los DAP. Esto garantizaría que los dispositivos no se pierdan en el océano ni se utilicen de manera ineficaz. Los DAP de acero, al ser marcables y numerables, ofrecen una oportunidad ideal para la implementación de un sistema de trazabilidad que permita monitorear su uso.

Monitorización del Impacto Ambiental y Operativo

Se recomienda que, una vez implementados los DAP reutilizables, se realice un monitoreo continuo tanto de su impacto en los ecosistemas marinos como de su rendimiento en las operaciones pesqueras. Esto permitiría identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias de uso, asegurando así un equilibrio entre eficiencia pesquera y sostenibilidad ambiental.

Investigación y Desarrollo de Nuevos Materiales Sostenibles

Si bien el acero ha demostrado ser un material eficaz y duradero, es recomendable continuar investigando otros materiales o tratamientos que mejoren la resistencia a la corrosión y reduzcan aún más el impacto ambiental. Materiales híbridos o aleaciones más avanzadas podrían contribuir a mejorar aún más el diseño de los DAP reutilizables en futuras aplicaciones, que también tomen en consideración los metales pesados que estos DAP reutilizables puedan generar.

BIBLIOGRAFÍA

- Anastacio, J., & Camara Nacional de Pesquería. (2022). *REPORTE DE EXPORTACIONES PESQUERAS DEL ECUADOR*.
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *VOLUNTARY GUIDELINES ON THE MARKING OF FISHING GEAR*.
- IATTC. (n.d.). *COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL 101 a REUNIÓN COMPETENCIA DE LA CIAT*.
- ISSF. (n.d.). *ISSF GUIDE FOR NON-ENTANGLING FADs*.
- ISSF. (2023). Potential Negative Impacts of FAD Use, Proposed Solutions, and RFMO Implementation Status. In *Fish and Fisheries* (Vol. 24, Issue 6). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/faf.12780>
- Karunarathna, K. A. A. U., & Attygalle, M. V. E. (2019). *Nutritional evaluation in five species of tuna. 1*. <https://doi.org/10.31357/vjs.v15i0.211>
- Lopez, J., Román, M., Lennert-Cody, C. E., Maunder, M. N., Vogel, N., & Fuller, L. M. (2022). *INDICADORES DE LA PESQUERÍA SOBRE OBJETOS FLOTANTES: UN INFORME DE 2022*.
- Macfadyen, G. ., Huntington, Tim., & Cappell, Rod. (2009). *Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear*. United Nations Environment Programme: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *INFORME SOBRE EL SECTOR ATUNERO ECUATORIANO*.
- Moreno, G., Salvador, J., Zudaire, I., Murua, J., Uranga, J., Murua, H., Grande, M., & Restrepo, V. (n.d.). *THE JELLYFAD: A PARADIGM SHIFT IN BIO-FAD DESIGN*.
- Naciones Unidas. (n.d.). *El atún, víctima de su éxito nutricional*. <https://www.un.org/es/observances/tuna-day#:~:Text=el%20mar%20Mediterráneo,-,Las%20especies%20de%20atún%20representan%20el%2020%25%20del%20valor%20de,Explotadas%20a%20niveles%20biológicamente%20insostenibles>.
- ROBAYO, F. (2018). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS DISPOSITIVOS DE AGREGACIÓN DE PECES (DAP) EN LA CAPTURA DE Thunnus albacares (BONNATERRE, 1788) EN EL OCÉANO PACIFICO ORIENTAL DURANTE LOS MESES DE ABRIL, MAYO Y JUNIO DE 2017*.
- Santana, A. T. (2015). *Estudio del comportamiento de la ictiofauna en torno a los dispositivos de agregación de peces*.
- Sobradillo, B., Boyra, G., Uranga, J., & Moreno, G. (2024). Target strength measurements of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and acoustic discrimination of three tropical tuna species . *ICES Journal of Marine Science*. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae040>
- Triz 40: *Solving technical problemas with TRIZ methodology*. (n.d.). Retrieved August 17, 2024, from <https://www.triz40.com/>
- Zudaire, I., Salgado, A., Pereira, E., Cusatti, S., Margulies, D., Buchalla, Y., Murua, J., Roman, M., Lopez, J., Uranga, J., Santiago, J., & Grande, M. (2024). *Testing of new compostable materials for the construction of dFAD raft*.

ANEXOS.

ANEXO A. Simulación del modelo CAD del DAP propuesto en condiciones reales en el ambiente marino.

Curvas hidrostáticas.

La hidrostática es un aspecto fundamental en el diseño naval, ya que permite comprender el comportamiento de las embarcaciones en el agua y su interacción con el medio ambiente. A través de gráficos hidrostáticos, se puede visualizar y analizar parámetros cruciales como la inmersión, el área sumergida, y la relación entre el desplazamiento y el calado. Estos datos son esenciales para asegurar la estabilidad, la flotabilidad y el rendimiento general de la embarcación. En la siguiente imagen se presenta un conjunto de gráficos que ilustran diferentes aspectos hidrostáticos, proporcionando información valiosa para la evaluación y diseño de buques.

La Figura 14 destaca varios parámetros clave en el análisis hidrostático, incluyendo la relación entre el desplazamiento y el calado, así como la ubicación del centro de gravedad (KG) y el centro de flotación (KB). Al fijar el centro de gravedad en -30 m, se observa que los valores de KMT (centro de gravedad metacentral) y GMT (metacentro) son considerablemente mayores. Esto indica que la posición del centro de gravedad favorece la estabilidad del conjunto, asegurando que las boyas no se escoren de manera significativa. Este tipo de análisis es crucial, ya que permite optimizar el rendimiento y la seguridad de las embarcaciones, garantizando que cumplan con los estándares y regulaciones requeridos.

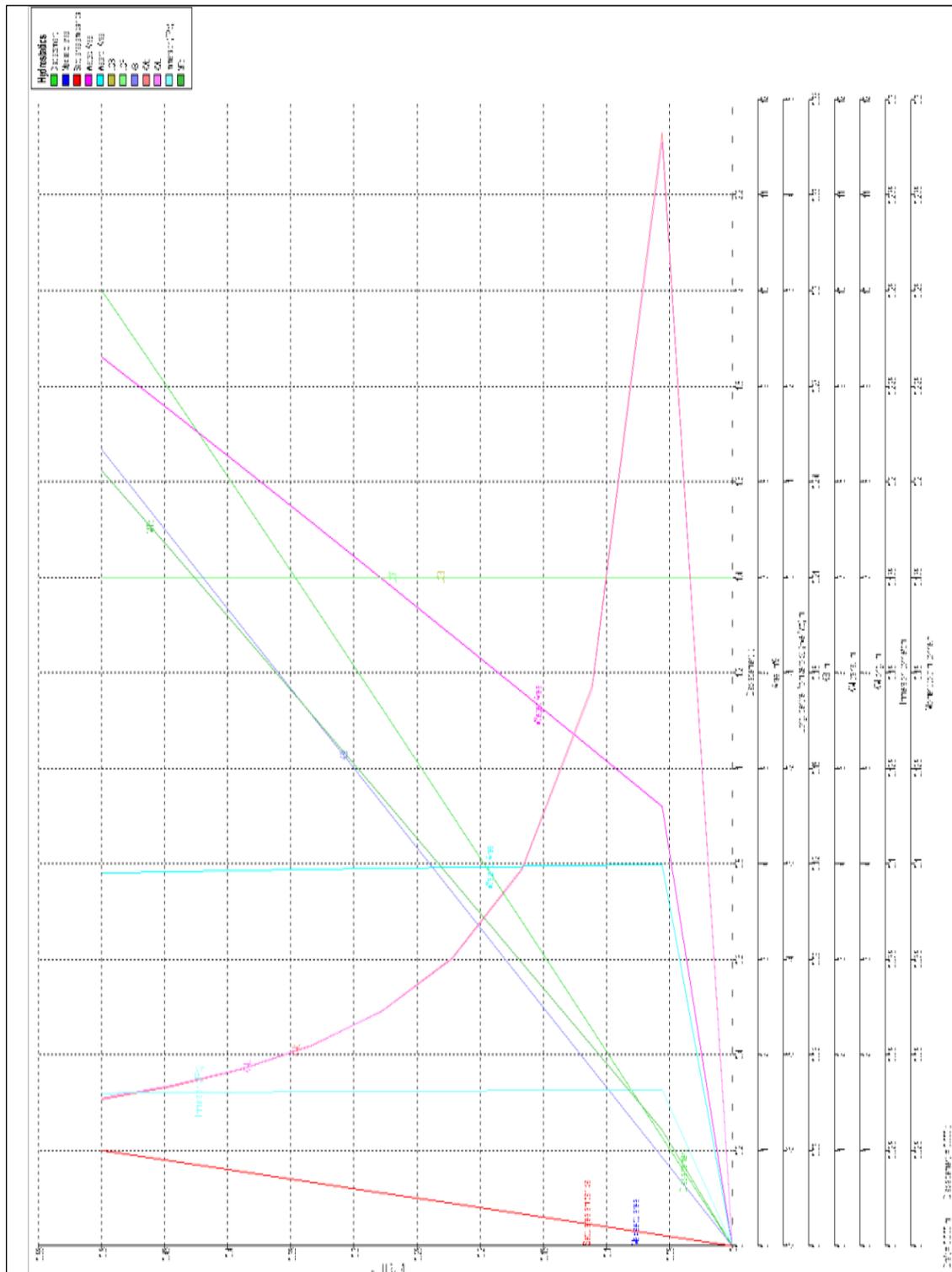


Figura 14. Curvas hidrostáticas del conjunto de boyas, el modelo se ha considerado como un grupo de cuerpos unidos rígidamente.

Fuente: Preparado por el autor.

PARÁMETRO	0.0 5	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
Displacement t	0	0.227	0.453	0.678	0.902	1.126	1.347	1.567	1.784	2
Heel deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0	0.056	0.111	0.167	0.222	0.278	0.333	0.389	0.444	0.5
Draft at AP m	0	0.056	0.111	0.167	0.222	0.278	0.333	0.389	0.444	0.5
Draft at LCF m	0	0.056	0.111	0.167	0.222	0.278	0.333	0.389	0.444	0.5
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	3.1 1	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
Beam max extents on WL m	0	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
Wetted Area m ²	0	4.599	5.199	5.797	6.392	6.983	7.571	8.154	8.732	9.304
Waterpl. Area m ²	0	3.989	3.981	3.973	3.963	3.953	3.942	3.93	3.917	3.902
Prismatic coeff. (Cp)	0	0.641	0.64	0.639	0.637	0.636	0.634	0.632	0.63	0.627
Block coeff. (Cb)	0	0.412	0.412	0.411	0.41	0.409	0.408	0.406	0.405	0.404
Max Sect. area coeff. (Cm)		0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0	0.412	0.412	0.411	0.41	0.409	0.408	0.406	0.405	0.404
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KB m	0	0.028	0.056	0.083	0.111	0.139	0.167	0.194	0.222	0.25
KG m	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
BMt m	0	11.62 8	5.811	3.872	2.902	2.32	1.931	1.654	1.446	1.284
BML m	0	11.52 6	5.769	3.851	2.892	2.317	1.934	1.661	1.456	1.297
GMt m	30	41.65 6	35.86 6	33.95 5	33.01 3	32.45 9	32.09 8	31.84 9	31.66 8	31.53 4
GML m	30	41.55 4	35.82 5	33.93 4	33.00 3	32.45 6	32.10 1	31.85 5	31.67 8	31.54 7
KMt m	0	11.65 6	5.866	3.955	3.013	2.459	2.098	1.849	1.668	1.534
KML m	0	11.55 4	5.825	3.934	3.003	2.456	2.101	1.855	1.678	1.547
Immersion (TPc) tonne/cm	0	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.04	0.04	0.04	0.04
MTc tonne.m	0	0.03	0.052	0.074	0.096	0.117	0.139	0.16	0.182	0.203
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0	0.165	0.284	0.402	0.52	0.638	0.755	0.871	0.986	1.101
Max deck inclination deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 12. Valores de curvas hidrostáticas a diferentes calados, hasta 0.5 m.

Fuente: Preparado por el autor