

cepesca

POR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



***Auditoría Energética de
Palangreros de Superficie***



AUDITORÍA ENERGÉTICA DE PALANGREROS DE SUPERFICIE

- Asociaciones y Entidades Colaboradoras:
- Cooperativa de armadores de pesca del puerto de Vigo (ARVI)
 - Organización de Palangreros Guardeses ORPAGU
 - Pescadores de Carboneras S.C.A.





ÍNDICE

	<u>Página</u>
PRÓLOGO _____	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO _____	21
1.1. MOTIVACIÓN. EMPRESAS PARTICIPANTES	
1.2. LA AUDITORÍA ENERGÉTICA	
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	
2. INTRODUCCIÓN _____	25
3. PRESENTACIÓN GENERAL DE LA FLOTA PESQUERA Y DE PALANGRE ESPAÑOLA _____	31
4. INTRODUCCIÓN A LA FLOTA EN ESTUDIO _____	41
5. ESTUDIO DEL GRUPO 1 _____	49
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA	
5.1.1. Características y dimensiones principales	
5.1.2. Motores y equipos a bordo	
5.1.3. Perfil operativo	
5.2. MEDICIONES REALIZADAS A BORDO	
5.3. ESTUDIO HIDRODINÁMICO 100	
5.4. ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA PROPULSORA	



5.5. ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA GENERADORA	
5.6. PERFIL DE CONSUMOS	
5.7. ESTUDIO DE LOS CONSUMIDORES DE POTENCIA ELÉCTRICA	
5.8. PROPUESTAS DE MEJORA. VIABILIDAD ECONÓMICA	
5.8.1. Hidrodinámica y propulsión	
5.8.2. Generación y consumidores	
5.8.3. Propuestas conjuntas generación/propulsión	
5.8.4. Otras propuestas	
5.8.5. Ahorro total propuestas	
6. ESTUDIO DEL GRUPO 2	177
6.1. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA 186	
6.1.1. Características y dimensiones principales	
6.1.2. Motores y equipos a bordo	
6.1.3. Perfil operativo	
6.2. MEDICIONES REALIZADAS A BORDO	
6.3. ESTUDIO HIDRODINÁMICO	
6.4. ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA PROPULSORA	
6.5. PERFIL DE CONSUMOS	
6.6. PROPUESTAS DE MEJORA HIDRODINÁMICA Y PROPULSIÓN. VIABILIDAD ECONÓMICA	
7. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO DESCARTADAS	203
8. CASO HIPOTÉTICO DE CONSTRUCCIÓN DE UN PALANGRERO HOY	207
9. CONCLUSIONES	215

PRÓLOGO

La situación actual del sector pesquero español viene influida por varios factores que han ido tomando peso a lo largo de los últimos años y que colocan a este sector en una posición complicada y económicamente peligrosa.

Estos factores son la continua subida de los precios del combustible, las nuevas normativas de control de emisiones y las cuotas de pesca.

PRECIO COMBUSTIBLE

La coyuntura mundial actual está enmarcada en un período de crisis debido a varios factores, entre ellos el control geoestratégico de las reservas de crudo mundiales.

La tendencia del precio del crudo se presenta claramente alcista, y no hay indicios de que esto vaya a cambiar, teniendo en cuenta que los yacimientos son cada vez más escasos y el crudo debe ser extraído a mayor profundidad. No se deben olvidar además los condicionantes sociales, como las constantes revueltas que está sufriendo el mundo árabe y que afectan al suministro de crudo.

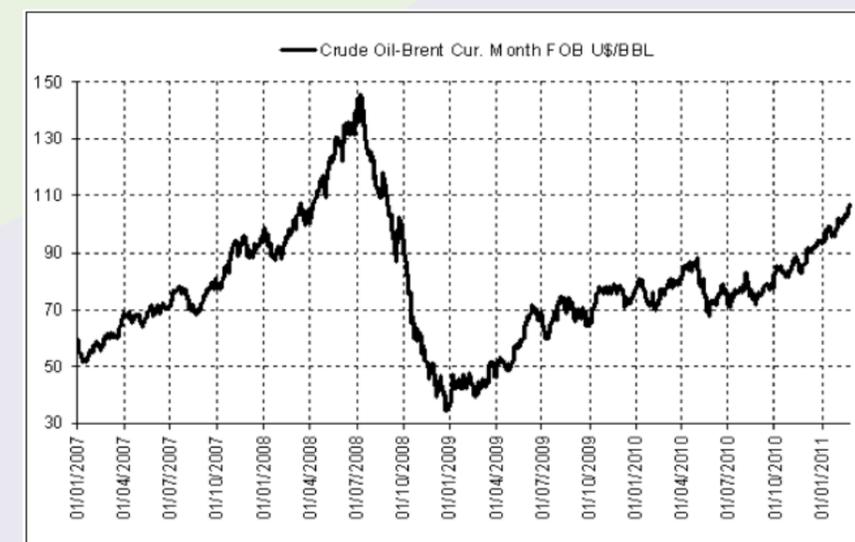


Fig. 1: Evolución del precio del barril de Brent 2007-2011

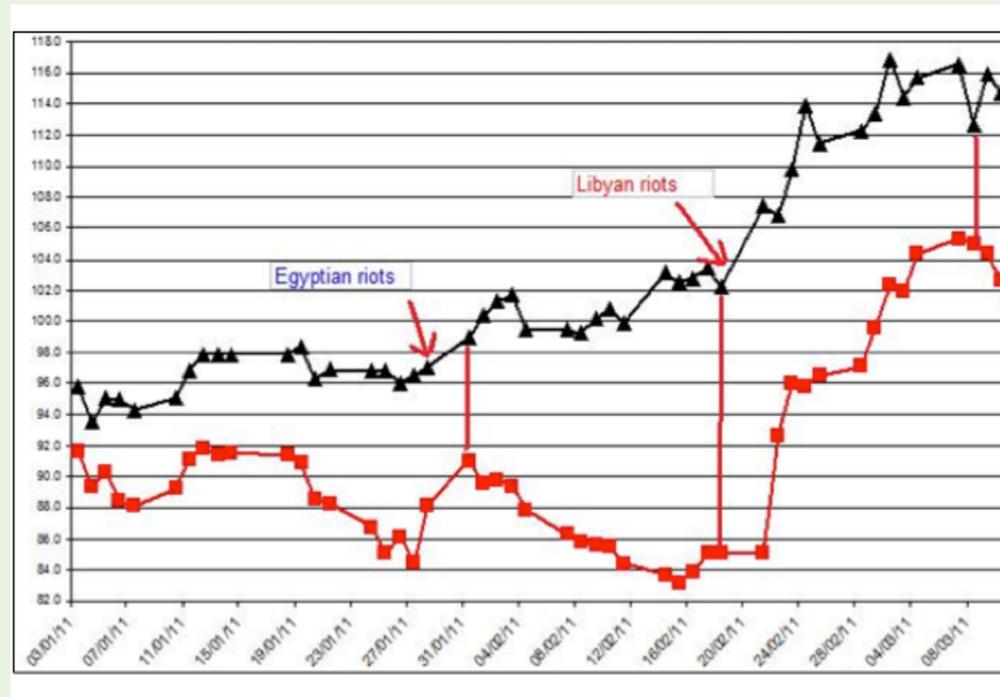


Fig. 2: Precio Barril Brent durante 2011

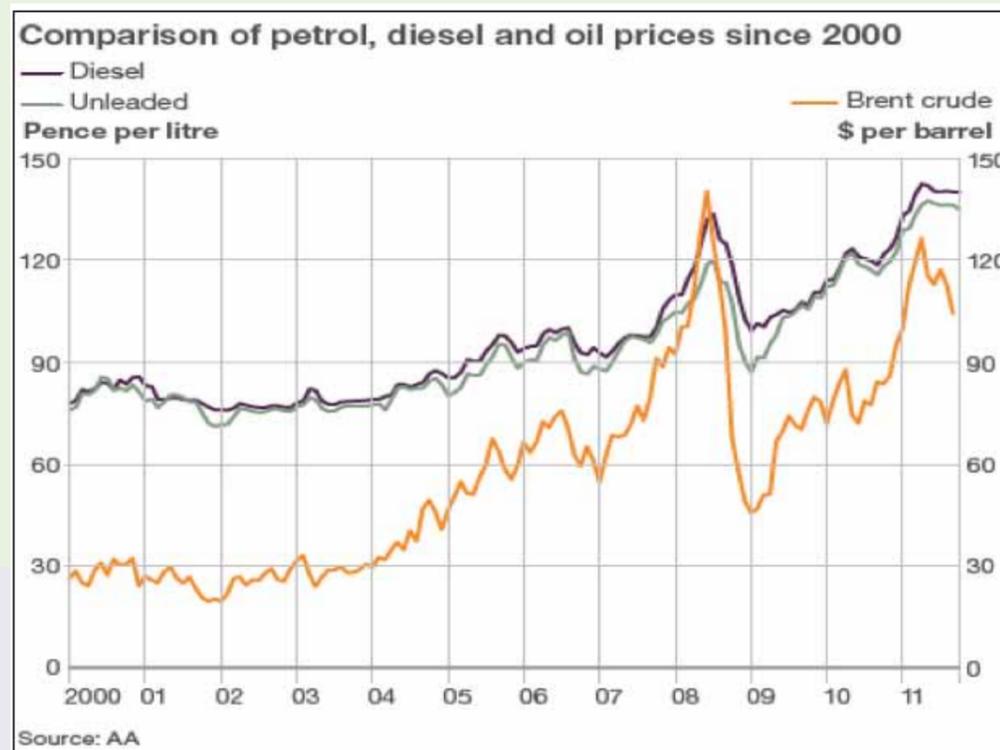


Fig. 3: Precios diversos combustibles 2000-2011

La flota pesquera española consume como combustible casi exclusivamente gasóleo, siendo el combustible una de las partidas de costes más importantes de los buques pesqueros. Esto hace que la rentabilidad del sector pesquero dependa directamente de las continuas oscilaciones del precio del mismo.

CONTROL DE EMISIONES

Por otra parte, la incipiente normativa internacional sobre emisiones supone un reto para las empresas armadoras a la hora de adaptar sus buques a las normas existentes y a las que habrá que someterse en un corto plazo.

Los gases de combustión son principalmente dióxido de carbono (CO2) en una proporción del 9 %, es decir, algo más de 0,6 kg por kWh producido, y vapor de agua (H2O), en torno a un 4 % ó 270 g/kW.

Junto con los anteriores, aunque en proporciones mucho menores, aparecen otros dos grupos de compuestos que tienen sin embargo gran importancia como contaminantes, que son, por un lado, el resto de emisiones gaseosas, que suponen un 0,3% y están formadas básicamente por óxidos de nitrógeno (NOx, aprox. 15 g/kWh), óxidos de azufre (SOx, aprox. 4 g/kWh), monóxido de carbono CO (menos de 1 g/kwh), y pequeñas cantidades de algunos más como el hidruro de carbono. Finalmente aparecen las partículas sólidas (PM), que aunque sólo suponen el 0,02 %, son también perjudiciales para el medio ambiente, y están compuestas de sulfatos, cenizas de óxidos de metales pesados y otros compuestos orgánicos.

Tanto la normativa actual como la venidera se concentran en la regulación de CO2, por su elevado volumen, y los NOx y SOx por sus posibles efectos dañinos colaterales.

En lo referente a las emisiones de CO2, el Protocolo de Kyoto apenas hace una mención al transporte marítimo, que queda excluido de los objetivos generales de reducción de emisiones. No hay por tanto cuotas obligatorias de reducción de emisiones para el transporte marítimo, pero la OMI deberá desarrollar normas al respecto a medio plazo.

En cuanto a las emisiones de NOx, la normativa IMO prohíbe el funcionamiento de los motores diesel marinos instalados en buques que incumplan los máximos niveles admisibles. Teniendo en cuenta que la mayoría de las medidas para conseguirlo implican modificaciones que afectan al diseño mismo de esos motores y que estas tardan años en incorporarse a la fase de fabricación, la OMI ha definido tres niveles (o Tiers) diferentes de exigencia, en función de las rpm y la situación:

- **IMO Tier I:** Establece los niveles generales actuales máximos de NOx para motores a bordo de buques construidos entre 2000 y 2010, entre los 17 g/kwh y los 9,8 g/kwh, dependiendo de las revoluciones nominales.
- **IMO Tier II:** Establece igualmente niveles generales para los motores de barcos que se construyan a partir de 2011, en niveles que suponen reducciones entre el 15 y el 22 % sobre los anteriores, es decir niveles absolutos entre los 14,4 g/kwh y los 7,7 g/kwh, dependiendo de las revoluciones nominales.
- **IMO Tier III:** Impone niveles máximos para buques construidos a partir de 2016, que suponen un 80% de reducción sobre los del nivel I, y que serán aplicables solamente si el buque está operando en una zona de control de las emisiones (ECA).

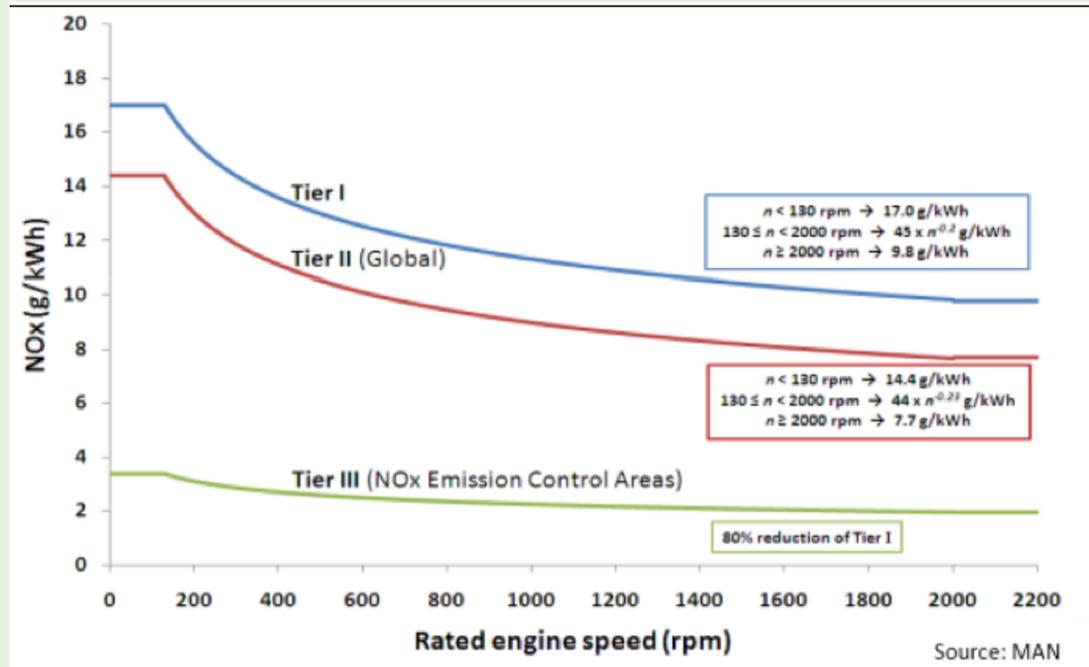


Fig. 4: Niveles de NOx permitidos por los niveles TIER.

Además, en el Anexo 13 de MARPOL, que recoge la resolución MEPC.176(58) contiene las modificaciones al Anexo VI, que entró en vigor el 1 de Julio de 2010. En ellas, además de introducirse a partir de esa fecha unos requerimientos más estrictos para los combustibles, se endurecen los niveles de emisión de NOx.

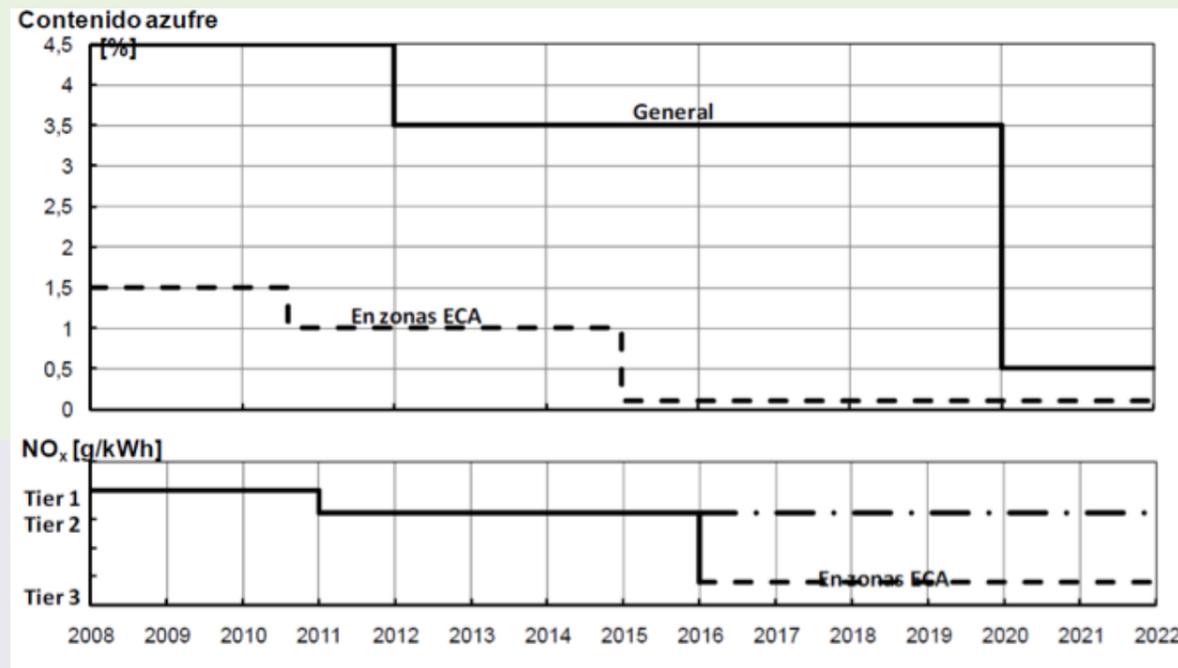


Fig. 5: Evolución temporal de los niveles de emisiones permitidos por normativa.

Entre las diferentes soluciones para reducir estas emisiones de NOx se encuentran las que consisten en introducir cambios técnicos en los motores y se dividen en dos grupos: Las que atacan el problema en su origen, en el interior del cilindro, y las que tratan de evitar su difusión después depurando los gases a su salida. Las primeras consisten en introducir cambios físicos en el motor para mejorar la mezcla aire / combustible, refrigerar el aire de entrada, o buscar la forma de conseguir temperaturas más uniformes en toda la cámara, inyectar agua, o gases de escape, etc., de tal forma que la intensidad del proceso se reduzca, sin que ello afecte demasiado al consumo. Las segundas actúan en el escape incorporando silenciosos, filtros, trampas o catalizadores, y su desarrollo está más retrasado, aunque el futuro esté probablemente en una combinación de ambas.

Por otra parte, los acuerdos internacionales para limitar emisiones y luchar contra el cambio climático han dejado por el momento de lado las debidas a todo tipo de navegación por la dificultad inherente a su cálculo y en segundo lugar para poder asignarlas por zonas y países. Lógicamente las emisiones son más preocupantes cuando se producen en la proximidad de las costas y zonas habitadas, y esto se debe a que, en general, puede decirse que el efecto sobre el calentamiento global es más acusado cuando se produce en zonas más contaminadas por otras causas que cuando se hace en zonas más limpias, y ello puede ayudar a explicar el diferente tratamiento que se está dando a la protección de determinadas zonas marinas.

Hasta el momento las únicas ECAs (Áreas de Emisiones Controladas) en vigor se refieren solamente a niveles de azufre (SECA) y son el Báltico, el Mar del Norte y el Canal de la Mancha, pero ya están planificadas para 2012 las que afectan a las costas Este y Oeste de USA, Hawai y Canadá, que limitarán a la vez NOx, PM y SOx y en discusión las correspondientes a las costas de México, Alaska, Región de los Grandes Lagos, Singapur, Hong Kong, Corea, Australia, Mar Negro, Mar Mediterráneo (2014) y Bahía de Tokio (2015).

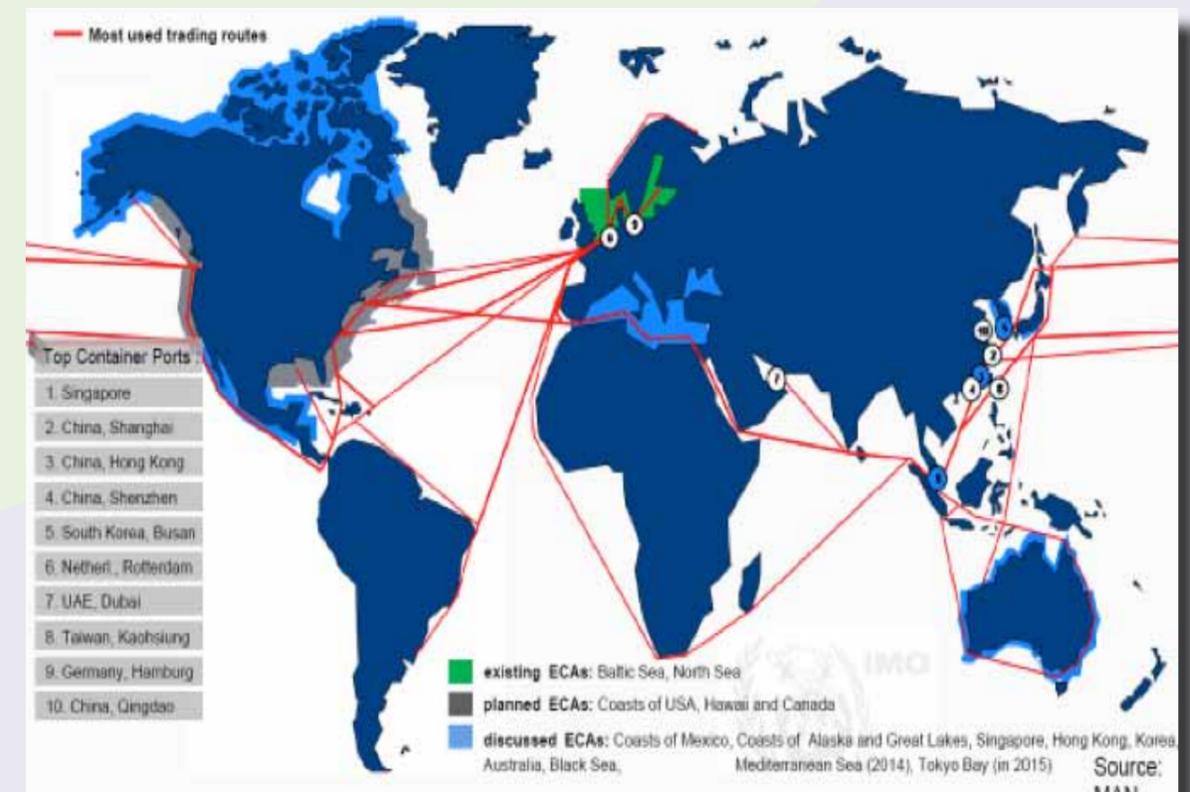


Fig. 6: Zonas de Control de Emisiones (ECAs) presentes y futuras.

El tope de contenido de azufre en los combustibles se reduce con carácter general al 3,5 %, con efectos desde el 1 de Enero de 2012, mientras en las zonas SECA, la bajada es hasta el 1 %, con efectos a partir del mismo 1 de Julio de 2010, y a solamente el 0,10% desde el 1 de enero de 2015.

Se establece la obligación de llevar a bordo de todos los buques mayores de 400 GT, un nuevo Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación Atmosférica, y pasar los reconocimientos periódicos correspondientes.

La figura 7 muestra una aproximación a la distribución e intensidad de las emisiones SOx, procedentes de la navegación en la misma zona. Se recuerda al respecto que el Mar Báltico, el Mar del Norte y el Canal de la Mancha ya están declarados como Zona de Control de Emisiones (ECAs) de azufre por la UE y el IMO.

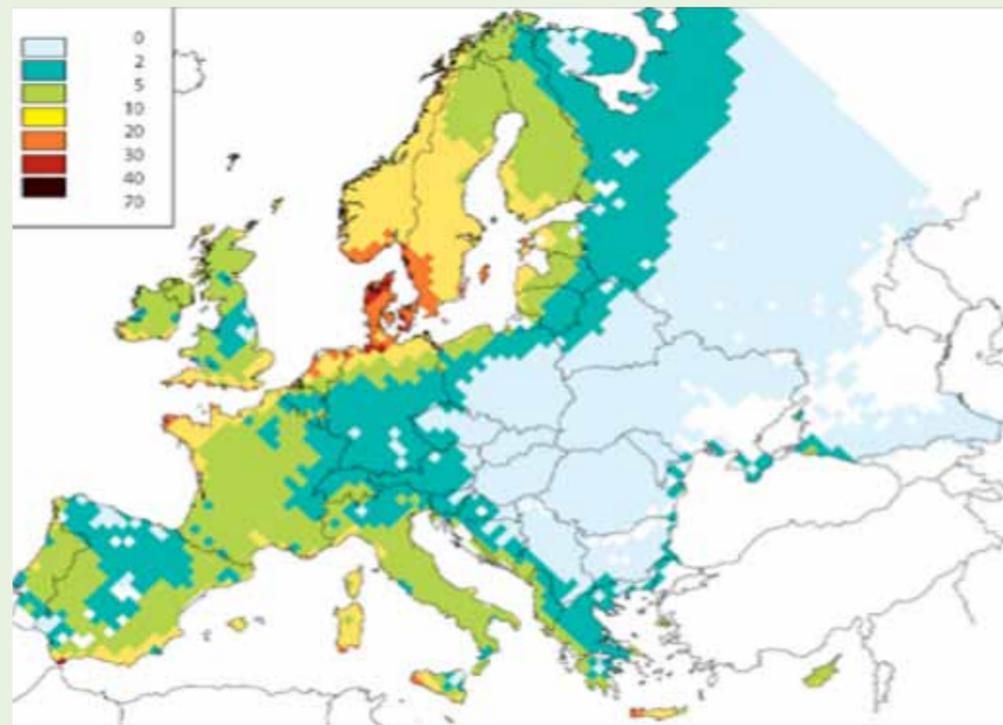


Fig. 7: Distribución de emisiones de SOx.

CUOTAS DE PESCA

La creciente preocupación de la de la Unión Europea en pos de una explotación sostenible de los recursos marinos, ha hecho que en los últimos años se hayan endurecido las cuotas de pesca asignadas a cada país. Esto, unido a la tendencia descendente de los precios de venta del pescado, completa el difícil escenario actual de la pesca española.

La cuota de pesca adjudicada a España resulta, en general, insuficiente, al ser el pescado un producto muy consumido a nivel nacional. De esta manera, en los primeros cuatro meses del año 2011, ya se había consumido toda la cuota anual que procedía de caladeros europeos, a partir de entonces todo el pescado consumido debía venir de aguas de fuera de la Unión Europea o debía ser comprado a terceros.

Debido a estas situaciones, a menudo se supera la cuota anual asignada para una cierta especie, y este aumento debe ser compensado al siguiente año. La siguiente gráfica, datos publicados por el BOE, representa el sobreconsumo de algunas especies en 2011, y las correspondientes devoluciones en 2012, que en ocasiones se han de multiplicar por factores superiores a 1:

Nombre de la especie	Nombre de la zona	Desembarques permitidos en 2011 (cantidad adaptada total en toneladas) (t)	Capturas totales en 2011 (cantidad en toneladas)	Utilización de la cuota (%)	Sobrepesca referida a los desembarques permitidos (cantidad en toneladas)	Coefficiente multiplicador (t)	Deducciones de 2012 (t) (cantidad en toneladas)
Abadejo	Zonas VIIIa, VIIIb, VIIIc y VIIIe	61,00	65,30	107,0 %	4,30	1	4,30
Abadejo	Zona VIIIc	208,00	256,00	123,1 %	48,00	1	48,00
Gamba nórdica	NAFO 3L	214,00	292,00	136,4 %	78,00	1	78,00
Gallineta nórdica	NAFO 3LN	0,00	43,50	—	43,50	1	43,50
Besugo	Aguas de la UE y aguas internacionales de las zonas VI, VII y VIII	49,12	62,30	126,8 %	13,18	1	13,18
Lenguado común	Zonas VIIIa y VIIIb	10,00	10,70	107,0 %	0,70	1	1,05
Brosmio	Aguas de la UE y aguas internacionales de las zonas V, VI y VII	8,30	50,70	610,8 %	42,40	1	42,40
Bacaladilla	Zonas VIIIc, IX y X; aguas de la CE del CPACO 34.1.1	1 987,00	2 258,30	113,7 %	271,30	1,2	325,56

Fig. 8: Sobrepesca de algunas especies en España, año 2011, devoluciones año 2012.

A la hora de establecer las cuotas para 2012, Bruselas presentó una propuesta para aguas de la Unión Europea y aguas internacionales, que en la gran mayoría de los casos implicaba reducciones de entre el 15 % y 25 %. Sin embargo en el acuerdo final muchas cuotas quedaron intactas, e incluso algunas aumentaron:

Especie	Zona de pesca	Cuota 2011	Cuota propuesta 2012	%Variación	Cuota definitiva 2012	% Variación definitiva
Bacaladilla	Atlántico Noreste	1.300	8.209	531,46%	8.209	531,46%
Bacaladilla	Canal de Cádiz y aguas de Portugal	824	8.034	875,00%	8.034	875,00%
Brosmio	Oeste de Escocia y aguas de Irlanda	14	14	0,00%	14	0,00%
Merluza	Atlántico	2.211	1.570	-28,99%	2.156	-2,49%
Merluza azul	Oeste de Escocia y aguas de Irlanda	62	41	-33,87%	62	0,00%
Jurel	Mar del Norte	380	277	-27,11%	359	-5,53%
Jurel	Atlántico Noreste	16.795	16.498	-1,77%	16.498	-1,77%
Cangrejo de las nieves	Aguas de Groenlandia	437	437	0,00%	437	0,00%
Arenque	Aguas de Noruega	73	61	-16,44%	61	-16,44%
Bacalao	Aguas de Noruega	1.904	2.198	15,44%	2.198	15,44%
Bacalao	Aguas de Svalbard (Noruega)	11.397	11.941	4,77%	11.941	4,77%
Gallineta nórdica	Aguas internacionales	633	533	-15,80%	533	-15,80%
Gallineta nórdica	Aguas de Noruega	95	95	0,00%	95	0,00%
Jurel	Atlántico Noreste	16.795	16.498	-1,77%	16.498	-1,77%

Fig. 9: Comparación cuotas 2011-2012 para España en aguas no pertenecientes a la UE.

Especie	Zona de pesca	Cuota		%Variación	Cuota	
		2011	propuesta 2012		definitiva 2012	%Variación definitiva
Bacalao	NAFO	1.448	1.328	-8,29%	1.328	-8,29%
Fletán Negro	NAFO	4.722	4.486	-5,00%	4.486	-5,00%
Rayas	NAFO	5.833	4.132	-29,16%	4.132	-29,16%
Gallineta nórdica	NAFO	233	233	0,00%	233	0,00%
Gallineta nórdica	NAFO	1.771	1.771	0,00%	1.771	0,00%
Locha blanca	NAFO	1.528	1.273	-16,69%	1.273	-16,69%
Atún rojo	ICCAT	2.411,01	2.411,01	0,00%	2.411,01	0,00%
Pez espada	ICCAT	7.184,10	6.949,00	-3,27%	6.949,00	-3,27%
Pez espada	ICCAT	4.967,30	5.024,90	1,16%	5.024,90	1,16%
Atún blanco del norte	ICCAT	15.996,90	14.076,40	-12,01%	14.076,40	-12,01%
Atún blanco del sur	ICCAT	943,70	759,20	-19,55%	759,20	-19,55%
Patudo	ICCAT	15.799,60	15.758,70	-0,26%	15.758,70	-0,26%
Aguja azul	ICCAT	34,00	24,00	-29,41%	24,00	-29,41%
Aguja blanca	ICCAT	28,50	34,00	19,30%	34,00	19,30%

Fig. 10: Comparación cuotas 2011-2012 para España en aguas no pertenecientes a la UE.

Especie	Zona de pesca	Cuota		%Variación	Cuota	
		2011	propuesta 2012		definitiva 2012	%Variación definitiva
Abadejo	Oeste de Escocia	6	4	-33,33%	6	0,00%
Abadejo	Aguas de Irlanda	25	19	-24,00%	25	0,00%
Abadejo	Golfo de Vizcaya	252	214	-15,08%	252	0,00%
Abadejo	Cantábrico	208	176	-15,38%	208	0,00%
Abadejo	Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	273	232	-15,02%	273	0,00%
Anchoa	Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	3.635	3.090	-14,99%	3.998	9,99%
Cigala	Oeste de Escocia	28	28	0,00%	29	3,57%
Cigala	Aguas de Irlanda	1.306	1.053	-19,37%	1.306	0,00%
Cigala	Banco Porcupine en aguas de Irlanda	377	285	-24,40%	377	0,00%
Cigala	Golfo de Vizcaya	234	199	-14,96%	234	0,00%
Cigala	Cantábrico	87	79	-9,20%	79	-9,20%
Cigala	Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	76	68	-10,53%	68	-10,53%
Gallos	Oeste de Escocia	385	327	-15,06%	385	0,00%
Gallos	Aguas de Irlanda	5.490	4.118	-24,99%	5.215	-5,01%
Gallos	Golfo de Vizcaya	999	750	-24,92%	950	-4,90%
Gallos	Cantábrico, Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	1.010	1.091	8,02%	1.121	10,99%
Jurel	Cantábrico	22.521	22.409	-0,50%	22.409	-0,50%
Jurel	Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	7.654	7.969	4,12%	7.969	4,12%
Lenguado	Aguas de Francia	10	8	-20,00%	10	0,00%
Lenguado	Cantábrico, Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	403	343	-14,89%	403	0,00%
Maruca azul	Aguas internacionales del Atlántico	778	582	-25,19%	778	0,00%
Merlan	Golfo de Vizcaya y Cantábrico	1.270	1.080	-14,96%	1.270	0,00%
Merluza	Oeste de Escocia y aguas de Irlanda	9.109	8.129	-10,76%	9.109	0,00%
Merluza	Golfo de Vizcaya	6.341	5.659	-10,76%	6.341	0,00%
Merluza	Cantábrico, Golfo de Cádiz y aguas de Portugal	6.844	7.870	14,99%	7.870	14,99%

Fig. 11: Comparación cuotas 2011-2012 para España en aguas pertenecientes a la UE.

La finalidad de las cuotas de pesca es asegurar la sostenibilidad de los caladeros existentes. No parece muy lógico sin embargo, que en base a los datos disponibles, se planteen una serie de drásticas bajadas en las cuotas, para finalmente acordar un aumento de las mismas. Debido a estas contradicciones se está extendiendo la opinión de que existe una grave carencia oficial de datos sobre la situación de los caladeros.

En cualquiera de los casos, la realidad es que, a excepción de lo ocurrido en 2012, la tendencia de las cuotas es claramente a la baja.

Así, el sector pesquero español se encuentra actualmente en una situación económica bastante complicada, con el precio del combustible creciendo, sus cuotas y los precios de sus ventas bajando, y una normativa ambiental cada vez más estricta.

El sector se ve obligado a buscar cambios que le permitan encontrar una solución de compromiso entre su necesidad de adecuación a los precios de combustible, cuotas de pesca y normativa de emisiones, y su necesidad de seguir realizando una explotación del buque rentable.



1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. MOTIVACIÓN. EMPRESAS PARTICIPANTES

Teniendo en cuenta la situación expuesta, respecto al sector pesquero español, la Confederación Española de Pesca (CEPESCA), entidad asociativa del sector pesquero extractivo de ámbito nacional sin ánimo de lucro, solicita la realización de este proyecto, consistente en el desarrollo de una serie de auditorías energéticas, para buques palangreros de superficie de la flota española, como búsqueda y estudio de posibles soluciones.

La flota en estudio está formada por veintisiete buques, diez de ellos pertenecientes a ARVI (Cooperativa de Armadores de pesca del Puerto de Vigo, Vigo), once pertenecientes a ORPAGU (ORganización de PALangreros GUardeses, La Guarda) y seis pertenecientes a Carbopesca (Pescadores de Carboneras, Carboneras).

El presente proyecto se enmarca dentro de la línea de actuación de auditorías energéticas en buques de pesca. Esta línea de actuación está contemplada en el Artículo 1 de la orden ARM/2368/2009, en virtud de las medidas establecidas en el artículo 9, letras a) y b), del reglamento (CE) nº 744/2008 del Consejo de 24 de Julio de 2008.

El proyecto se lleva a cabo de forma conjunta por las siguientes empresas:

- **Electromecánica Naval e Industrial, S.A., EMENASA**, es una empresa eléctrica de larga tradición y experiencia en la instalación y reparación naval en Vigo. Su actividad se amplía en otros sectores diferentes del naval como el energético, la ingeniería, la instalación en la industria en tierra, etc. Una de las características más singulares es la capacidad que tiene de realizar obras completas, que superan el marco eléctrico, debido a la incorporación de otras empresas con actividades mecánicas, hidráulicas, de diseño, tecnología, etc.

- **Vicus Desarrollos Tecnológicos S.L. (VICUSdt)**, es una empresa tecnológica que centra sus actividades en la investigación y desarrollo en los sectores naval y energético. Sus tres líneas principales de investigación son la hidrodinámica, la investigación en máquinas eléctricas innovadoras y el diseño mecánico, estructural y térmico. Cuenta para ello con las más avanzadas herramientas de simulación fluidodinámica (CFD), aplicable a la investigación de una nueva evolución de las carenas, hélices y timones de los buques, analizando la interacción entre estos elementos.

1.2. LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

Se debe ser consciente de que la mayoría de los buques existentes fueron construidos en otra

coyuntura económica y en otra situación del sector pesquero. La minimización del consumo de combustible no era un factor de peso a la hora de proyectar los buques, de manera que, muy a menudo, los equipos a bordo estaban sobredimensionados.

Por otro lado es de resaltar que en muchas ocasiones, los astilleros a la hora de proyectar un buque tienden a repetir diseños de otros buques existentes, que aunque similares, siempre tienen diferencias que hacen necesario un estudio de caso de cada buque concreto. La falta de este estudio genera la construcción de buques no optimizados ni adaptados a su explotación.

De esta manera el consumo de combustible se ve muy perjudicado, aumentando significativamente.

A esto debe sumarse la situación actual del sector pesquero, con una preocupación cada vez más grande por el consumo de combustible, y la necesidad de adaptarse a la nueva normativa medioambiental.

Es necesario por tanto encontrar una solución de compromiso, y en este sentido los esfuerzos se están centrando principalmente en tomar medidas encaminadas a reducir el consumo de combustible sin penalizar la pesca, ya sea mediante la incorporación de tecnologías más actuales, o mediante la realización de importantes obras en el buque, o simplemente adoptando nuevas maneras y costumbres de faenar y vivir a bordo.

Las auditorías energéticas como camino para alcanzar esta reducción de consumos son un trabajo cada vez más en auge; por un lado permiten identificar cómo se genera y utiliza la energía en el buque, y por otro lado permiten realizar propuestas de mejora que disminuyan dichos consumos. Estas propuestas además de ser factibles desde el punto de vista constructivo o técnico, deben serlo también desde el punto de vista de la rentabilidad económica, pudiendo recuperarse la inversión necesaria en un periodo de tiempo relativamente corto.

La realización de una auditoría energética completa a un buque implica un estudio que abarca diversos campos como la hidrodinámica del casco, la propulsión, la producción de energía eléctrica a bordo y el estudio de sus consumidores, entre otros.

Como resultado de una auditoría cabe esperar:

- Ahorro de combustible inmediato derivado del conocimiento del perfil de consumo, detectando condiciones de trabajo ineficientes y evitando malas prácticas.
- Identificación de posibles problemas en los motores (excesivo consumo, mala combustión, etc.)
- Caracterización de toda la hidrodinámica y propulsión del buque (principal consumidor energético), así como de la generación de potencia eléctrica.
- Realización de un estudio de potenciales mejoras y del impacto técnico y económico de las mismas recibiendo asesoramiento sobre su implementación.
- La auditoría energética da apoyo y abre la puerta a futuras solicitudes de ayudas o subvenciones, principalmente a aquellas que se relacionen con mejora de la eficiencia energética.

Todo esto redundará en una optimización y ahorro en el uso de combustible y una disminución del impacto derivado de los gases de escape sobre el medio ambiente.

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

- Objetivos económicos

Dado que el consumo de combustible representa actualmente una de las partidas más importantes en los costes de explotación de los buques de pesca, las auditorías energéticas son claves ya que permiten identificar y estudiar cómo se genera y utiliza la energía a bordo, y así poder planificar mejoras, que reduzcan dicho consumo.

Entendiendo el buque como una empresa, es muy importante que las propuestas de mejora sean rentables, generando plazos de amortización lo más reducidos posible.

Las propuestas van desde actuaciones de bajo coste, hasta grandes inversiones, que permiten mejorar el rendimiento de los buques de forma significativa. Estas inversiones pueden suponer grandes ahorros a medio plazo.

Se estima que es posible alcanzar reducciones de consumo de entre un 5% y un 25% del consumo total del buque, en función de la inversión y el alcance de las soluciones implementadas.

- Objetivos medio-ambientales

No se debe olvidar que una reducción en el consumo no sólo tiene consecuencias económicas, sino que también implica un descenso en la producción de elementos contaminantes, como los gases de escape que se emiten a la atmósfera y que contienen elementos altamente nocivos tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente (CO₂, CO, NO_x...)

La auditoría energética permitirá identificar aquellos puntos sobre los que es necesario y posible actuar para la reducción del consumo de combustible, dichas reducciones van de la mano de reducciones en la emisión de gases.

Por otro lado, durante las pruebas de mar se realizarán mediciones directas de las emisiones de gases del motor principal para cuantificar el nivel de emisiones del buque y poder evaluar el impacto directo sobre el medio ambiente y si se ajusta a la normativa IMO actual y futura.

Una ventaja adicional de la medición de gases durante las pruebas de mar es que facilita la identificación de posibles problemas de combustión y funcionamiento del motor, que repercuten en la eficiencia energética del mismo.

- Objetivos científico-tecnológicos

Se pretende consolidar el procedimiento de auditoría energética de manera que, a corto plazo, sea el propio sector el que lo demande para identificar soluciones de mejora.

El proyecto pretende también impulsar el uso de herramientas de simulación CFD como medio de mejora y optimización de geometrías, la realización de mediciones a bordo, y el diseño a medida de elementos tales como la hélice o el timón.

Una toma de datos tan detallada y exhaustiva como la que se propone, unida a los estudios hidrodinámicos y análisis de la planta propulsora y generadora, conformará una enorme cantidad de datos sumamente valiosa para la validación de los resultados obtenidos con herramientas de cálculo y simulación numérica.

Por otro lado, al ser un proyecto que engloba la realización de auditorías energéticas de veintisiete buques palangreros, éste nos permitirá, no sólo alcanzar los objetivos citados anteriormente para cada buque, sino también obtener una visión global de la flota de palangre de superficie española, así como realizar una valoración global del funcionamiento general de la misma, de su eficiencia energética, y de las mejoras aplicables y resultados esperables.



2. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de una auditoría energética es la reducción del consumo de combustible, por un lado para reducir el impacto ambiental producido, y por otro para reducir los costes económicos que dicho consumo supone para el buque.

Por tanto, consideramos necesario realizar, a priori, una pequeña descripción de los factores principales de los que dependen dichos consumos.

Por otro lado se presenta también una descripción previa del proceso utilizado para realización de las auditorías.

2.1. Factores principales de los que depende el consumo a bordo

La generación de energía en un buque es consumida por una parte en cubrir las necesidades de potencia de propulsión del mismo, y por otra en cubrir la demanda de potencia eléctrica del conjunto de consumidores de a bordo. De la primera se ocupa el motor propulsor, de la segunda los motores auxiliares.

El consumo en litros/hora de un motor diesel depende de la potencia desarrollada, aumentando con la misma.

El consumo específico alcanza un valor mínimo que se da cuando el motor trabaja entre el 70 y el 80 % de su potencia nominal. Este punto es el punto óptimo de funcionamiento del motor, y según nos alejamos de él, los consumos específicos aumentan.

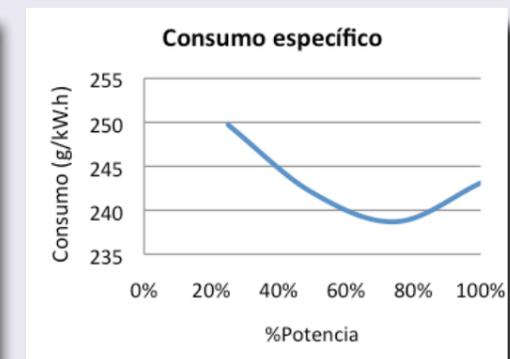
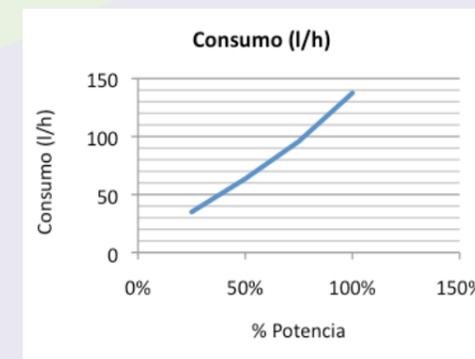


Fig. 12: Ejemplos de curvas de consumo y consumo específico de un motor diesel.

• **Propulsión**

La propulsión es el principal consumidor de energía a bordo, y por tanto de combustible; siendo la responsable, en este tipo de buques, de alrededor del 60 - 70 % del consumo total.

La potencia necesaria para desplazar el buque, potencia de remolque, se define como el producto de la velocidad y la resistencia total al avance del buque:

$$P = v \cdot R$$

Para minimizar los consumos referentes a la propulsión, se deben minimizar los requerimientos de potencia, atendiendo para ello a los anteriores factores.

La resistencia al avance del buque, a una velocidad dada, viene determinada por las formas y dimensiones del mismo.

La resistencia al avance del buque tiene dos componentes, la resistencia por formación de olas y la resistencia viscosa. La resistencia por formación de olas es la que tiene más peso sobre la resistencia total en buques que operan a altas velocidades. A bajas velocidades ocurre lo contrario, y la componente de mayor peso es la resistencia viscosa.

La resistencia total al avance es directamente proporcional a la superficie mojada del buque, y esta depende de las formas del mismo, de sus dimensiones principales y de los apéndices del casco. Por eso, elementos tales como el bulbo de proa, han de ser cuidadosamente estudiados, antes de ser incluidos en el buque, pues producen un aumento de su superficie mojada.

Sin embargo es la velocidad el factor que más influye sobre el consumo de combustible en la propulsión del buque, y como podemos observar en la siguiente gráfica, el incremento de potencia necesario para obtener un aumento dado de velocidad, es superior si nos encontramos en un rango de velocidades altas.

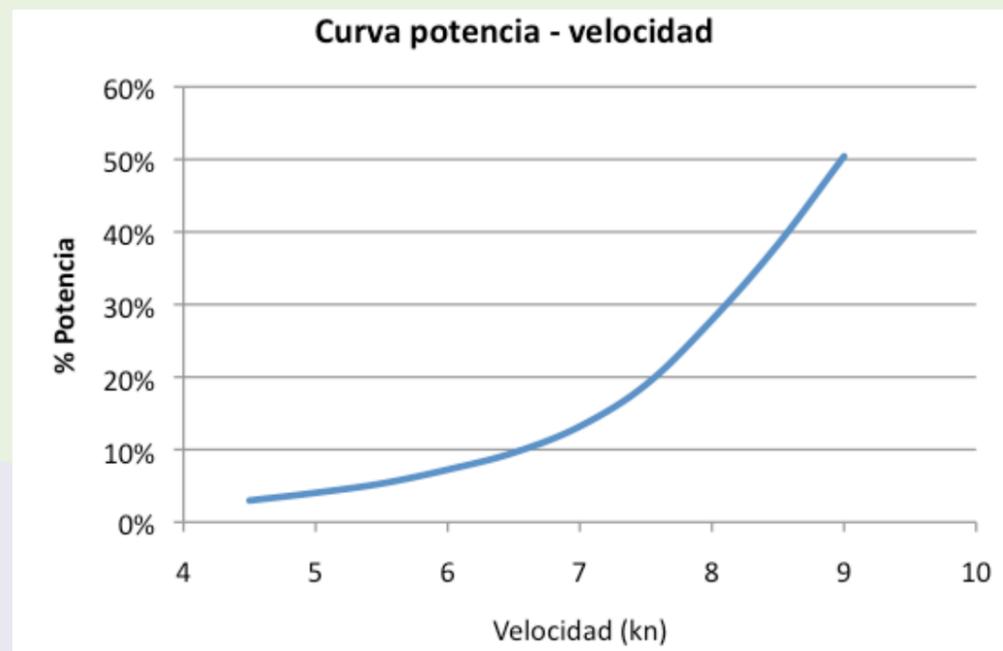


Fig. 13: Ejemplo curva potencia- velocidad.

Es por tanto muy importante seleccionar una velocidad adecuada, tras realizar un estudio que nos indique las ventajas e inconvenientes de un aumento o reducción de la misma. Teniendo en cuenta que, cambios en la misma implican respectivamente, mayores o menores duraciones de las mareas y mayores o menores consumos.

Es muy importante por otro lado hacer una adecuada definición de las condiciones de operación, tanto en tiempo, como en velocidad, para tenerlo en cuenta a la hora de seleccionar el motor principal de manera que éste trabaje el mayor tiempo lo más cerca posible de su punto óptimo de funcionamiento.

La potencia necesaria que debe proporcionar el motor principal está condicionada por la potencia de remolque, pero a ésta hay que añadirle las pérdidas por rendimientos mecánicos de la línea de ejes, el propulsor, el propio rendimiento del motor y el margen de mar. De entre estos, el punto más comprometido es la hélice o propulsor. Por ello el diseño de la hélice es otro punto muy importante e influyente en el consumo de la propulsión.

• **Generación**

La planta de generación de potencia eléctrica, formada por los motores auxiliares, es la responsable de alrededor del 40 % del consumo total del buque.

De nuevo cobra una gran importancia la definición de los tiempos de operación del buque en cada condición y, en este caso, la definición de los regímenes de trabajo de los consumidores activos en cada condición.

De igual manera que para el motor principal, en base a los anteriores datos se seleccionan los motores auxiliares, de manera que trabajen el mayor tiempo lo más cerca posible de su punto óptimo de funcionamiento.

Por normativa es obligatoria la instalación de dos grupos electrógenos, aunque uno puede ser un generador de cola. Ambos grupos electrógenos no tienen porqué ser de la misma potencia, en este caso la repartición de carga entre los mismos, según la condición de operación del buque, es un punto a estudiar, de forma que cada vez, uno u otro o ambos, se encuentren trabajando en su punto óptimo de funcionamiento.

Al margen de la selección de los motores, también tiene una gran importancia una adecuada selección de los consumidores, con potencias adecuadas a los trabajos que deben desarrollar. Consumidores sobredimensionados, generan mayores demandas de potencia, y por tanto, mayores consumos innecesarios.

2.2. Metodología de las auditorías

Se expone a continuación, de manera resumida, el proceso llevado a cabo en cada una de las auditorías realizadas:

• **Recogida de datos**

El primer paso a realizar es una recopilación exhaustiva de datos, planos y documentos acerca del buque en estudio.

Se recogen planos de formas, planos de disposición general, línea de ejes, hélice, timón, apéndices, etc. También se recopilan documentos con información sobre las hidrostáticas, calados, tanques, condiciones de carga, especificación técnica, etc. Por otro lado se recogen todos los datos disponibles acerca de los motores, tanto principales, como auxiliares, y de los consumidores instalados a bordo.

Finalmente se rellenan unas fichas con datos acerca de los consumidores, perfiles operativos, potencias desarrolladas por los motores y consumos de los mismos, así como número de mareas realizadas y duración de las mareas y consumo anual de combustible.

• Perfil operativo

Por otro lado se instala, en algunos buques, el RV, software que nos permite obtener un perfil operativo de tiempos y velocidades de los buques, según la condición de operación. En otros casos se obtiene mediante las fichas entregadas o datos recogidos a bordo.

• Mediciones

Se realizan mediciones con equipos y personal especializado a bordo de algunos buques. Se realizan mediciones de potencia en el eje, consumos del motor principal, rpm y velocidad del buque, y composición de los gases de escape del motor principal.

De esta manera podemos obtener la curva potencia velocidad del motor principal, y junto con el perfil operativo, obtener las cargas a las que funciona el mismo en cada condición de operación del buque.

La curva de consumos obtenida se alinea con la del banco del motor para corroborar la bondad de las mediciones realizadas.

• Estudio hidrodinámico

Con los planos disponibles se genera la carena en 3D del buque, así como el propulsor y el timón. Se realiza un estudio hidrodinámico de los mismos. De esta manera podemos obtener la resistencia al avance del buque y la potencia de propulsión para las velocidades ensayadas, así como estudiar la adecuación del diseño de carena, propulsor y timón a sus condiciones de trabajo.

Los datos obtenidos de las potencias de propulsión se alinean con los obtenidos en las mediciones, de forma que nos permite comprobar la bondad de ambos métodos.

• Balance eléctrico

Se realiza un balance eléctrico estimado con todos los consumidores de a bordo para conocer las cargas a las que trabajan los motores auxiliares.

• Evaluación de consumos planta propulsora

Con el perfil operativo y las curvas de consumos del motor principal, estamos en disposición de calcular el consumo total de la planta propulsora. Si no se realizaron mediciones se estiman las curvas de consumos a partir de las curvas del banco del motor.

• Evaluación de consumos planta generadora

Con el perfil operativo y las curvas de consumos de los motores auxiliares estamos en disposición de calcular el consumo total de la planta generadora. Se estiman las curvas de consumos a partir de las curvas del banco del motor.

• Propuestas en hidrodinámica y propulsión

Se plantean una serie de propuestas que generarán ahorros en el consumo de la planta propulsora.

Estas pueden referirse a la propulsión, por ejemplo generando nuevas geometrías de la hélice. Otras sin embargo afectan a la hidrodinámica, como la generación de nuevas formas de bulbos de proa. Algunas de ellas implican la realización de nuevos ensayos hidrodinámicos para el cálculo de las mejoras obtenidas, mediante la comparación entre la situación inicial y final.

• Propuestas en generación y consumidores

Se plantean una serie de medidas que generarán ahorros en el consumo de la planta generadora.

Estas medidas pueden afectar directamente a los propios consumidores, disminuyendo la potencia demandada por los mismos. O pueden referirse a la distribución de la potencia demandada entre los grupos auxiliares o a la inclusión de nuevos grupos generadores. Se calcula el ahorro producido como diferencia entre los consumos entre ambas situaciones, inicial y final.

• Evaluación económica

Una vez evaluadas las mejoras obtenidas, se evalúa la rentabilidad de las mismas, pudiendo desestimarse alguna de ellas, si se generan plazos de amortización muy elevados.

• Otros casos

La gran cantidad de datos, mediciones, cálculos, y ensayos realizados, nos permiten realizar extrapolaciones, en los casos en que no se dispongan de alguno de los citados datos.

El alcance de este estudio depende en gran medida de la información disponible, ya que en muchos casos se da la circunstancia de que la documentación se encuentra a bordo y se trata de buques que no descargan en puertos españoles.

Como se puede ver en el diagrama de flujo que se presenta, como ejemplo del proceso de auditoría, la propuesta de soluciones va siempre ligada a los estudios realizados, los cuales necesitan una información de entrada. La ausencia de datos en determinados campos no impide la realización de una auditoría energética, si bien se limita a las áreas de las cuales se aporte información.

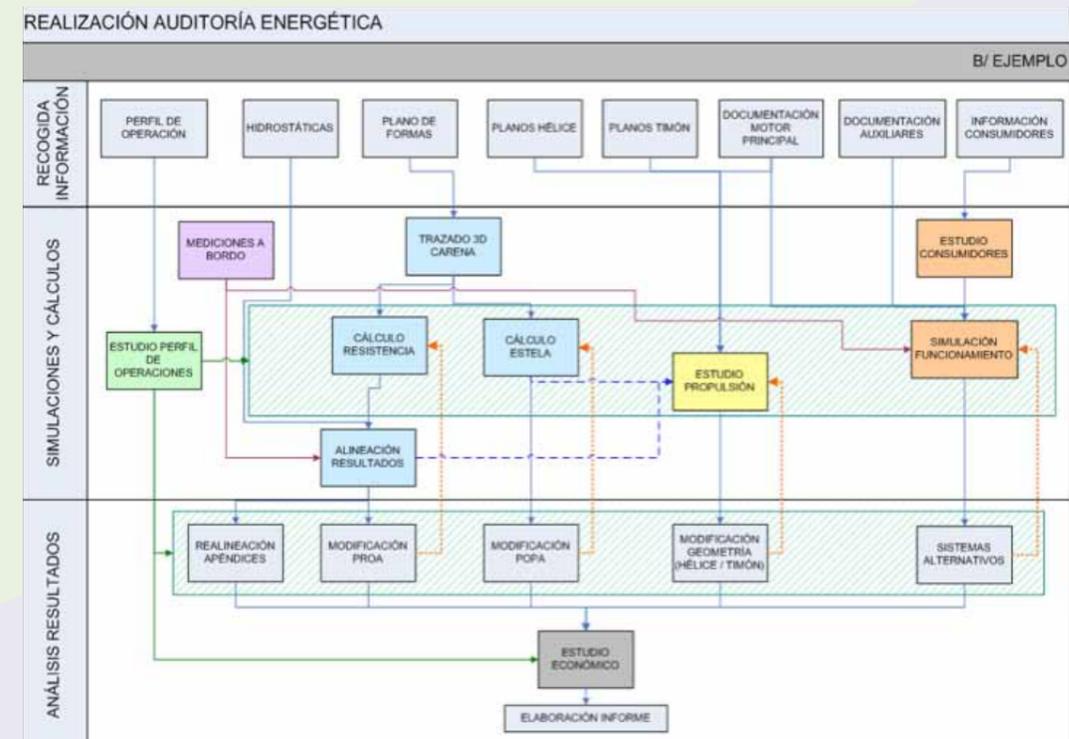


Fig. 14: Ejemplo de diagrama de flujo de auditoría energética.

NOTA: EL diagrama de flujo presentado, es sólo un ejemplo general de una auditoría energética; la información necesaria, así como los cálculos y simulaciones realizadas, y las modificaciones y mejoras propuestas, varían en cada caso particular, según el tipo de buque, perfil operativo, dimensiones, etc.



3. PRESENTACIÓN GENERAL DE LA FLOTA PESQUERA Y DE PALANGRE ESPAÑOLA

Según las últimas estadísticas de la actividad pesquera presentadas por el BOE, datos referentes al 31 de Diciembre de 2011, el sector de la pesca en España empleó en el año 2010 a 35.080 trabajadores (sin incluir los sectores del procesado y comercialización de los productos pesqueros, ni el sector de la acuicultura). También es importante mencionar que su contribución al PIB (Producto Interior Bruto) nacional no es muy elevada.

Sin embargo hay que tener en cuenta que se trata de una actividad con una elevada localización geográfica, de manera que las comunidades autónomas de Galicia, y en menor medida Andalucía, son las comunidades costeras con un mayor peso de la actividad pesquera. Y en ellas, el peso del empleo generado por la misma, y su aportación al PIB, es mucho más significativo que a nivel nacional.

Debido a la especial situación del sector pesquero español estos números han ido cambiando considerablemente a lo largo de los últimos años.

Año	2006	2007	2008	2009	2010
Miles de personas	33,38	35,26	31,39	36,71	35,08

Tabla 1: Miles de empleados en el sector pesquero español 2006-2010.

La siguiente gráfica nos muestra la evolución del empleo en el sector pesquero español entre los años 2006 y 2010, aunque no se pueda decir que haya un claro descenso, sí que se observa un reflejo de una situación en continuo cambio:



Fig. 15: Evolución empleo sector pesquero español 2006-2010.

Sin embargo, si nos fijamos en la evolución sufrida por el número de buques operativos del sector pesquero español, y en concreto del sector palangrero, entre los años 2006 y 2011, sí podemos observar el claro descenso sufrido por la flota:

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Nº Buques	13331	13002	11247	11116	10847	10505
Palangreros	534	522	490	484	455	430

Tabla 2: Evolución flota pesquera y palangrera española 2006-2011.

Las siguientes gráficas nos muestran el mencionado descenso de una manera más visual:

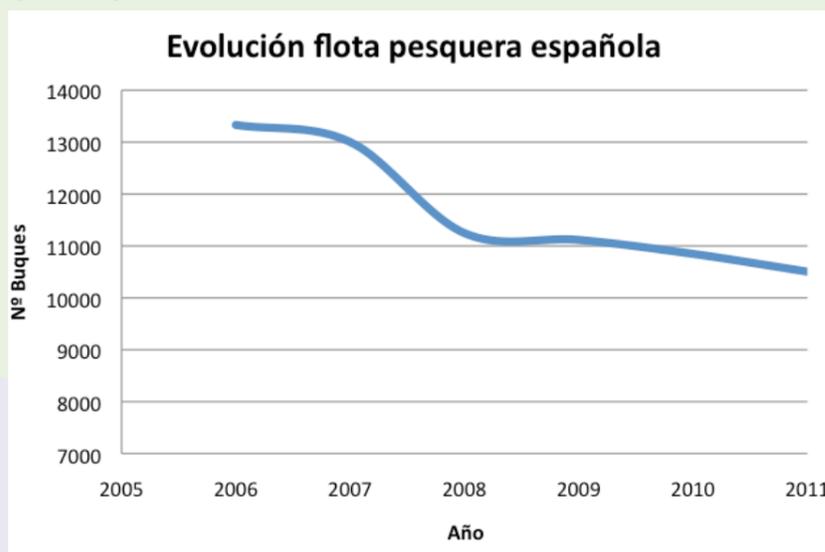


Fig. 16 Evolución flota pesquera española 2006-2011.

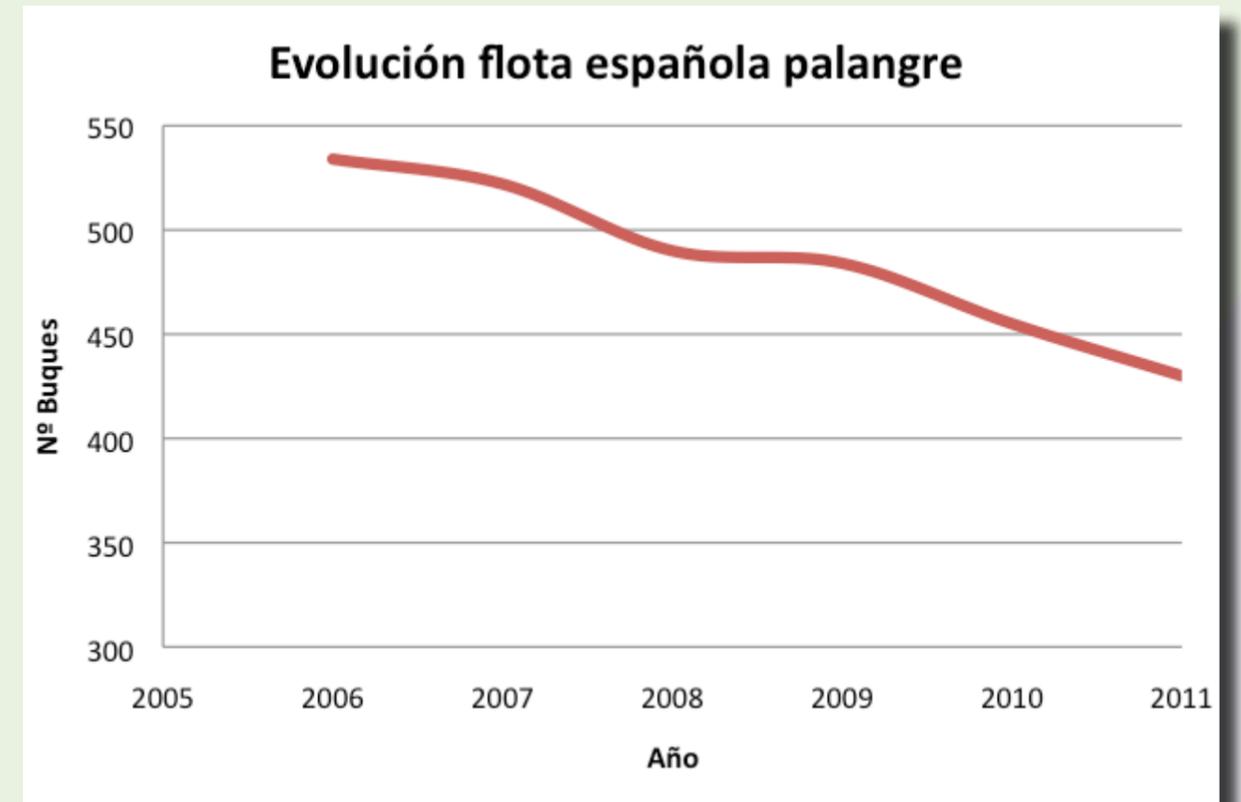


Fig. 17: Evolución flota de palangre española 2006-2011.

El reparto de la flota pesquera española según las comunidades autónomas es el siguiente:

	N Buques
Galicia	4.989
Asturias	310
Cantabria	139
País Vasco	238
Cataluña	955
Islas Baleares	402
Com. Valenciana	624
Murcia	212
Andalucía	1.672
Ceuta	31
Canarias	933
Total	10.505

Tabla 3 Nº Buques por comunidad autónoma

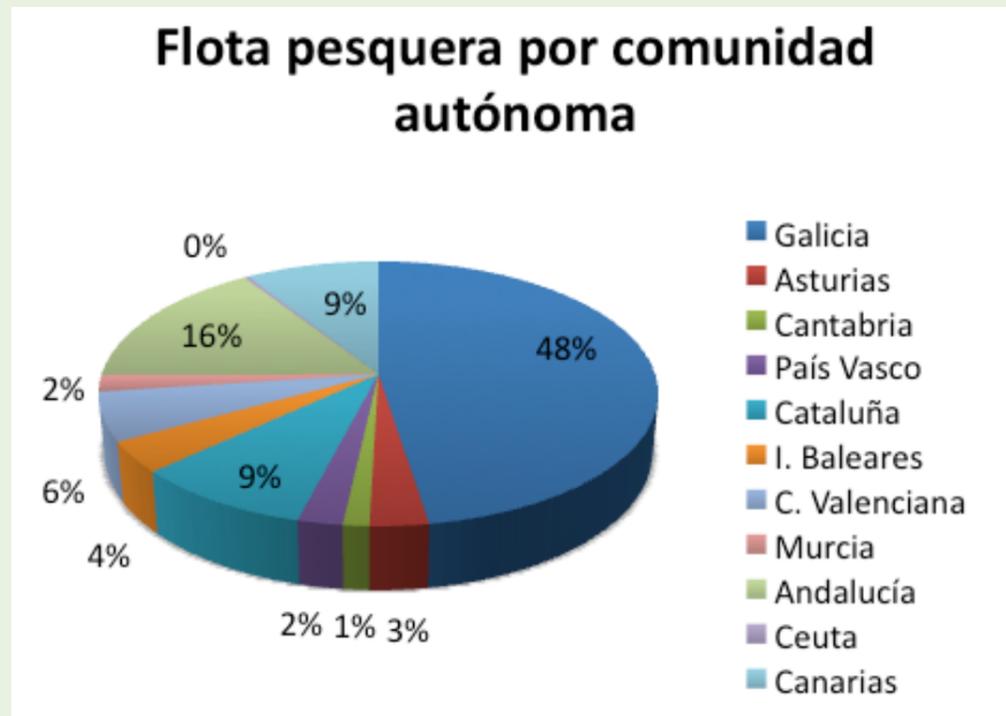


Fig. 18 Reparto de la flota pesquera por comunidad autónoma

Como ya habíamos adelantado destacan Galicia y Andalucía, seguidas Canarias y Cataluña.

Respecto al reparto de buques entre las principales actividades pesqueras tenemos los siguientes datos:

	Nº Buques
Arrastreros	1.159
Cerqueros	670
Palangreros	430
Redes de enmalle	145
Artes menores	8.090
Otros tipos	11
Total	10.505

Tabla 4: Nº Buques por tipo de pesca.

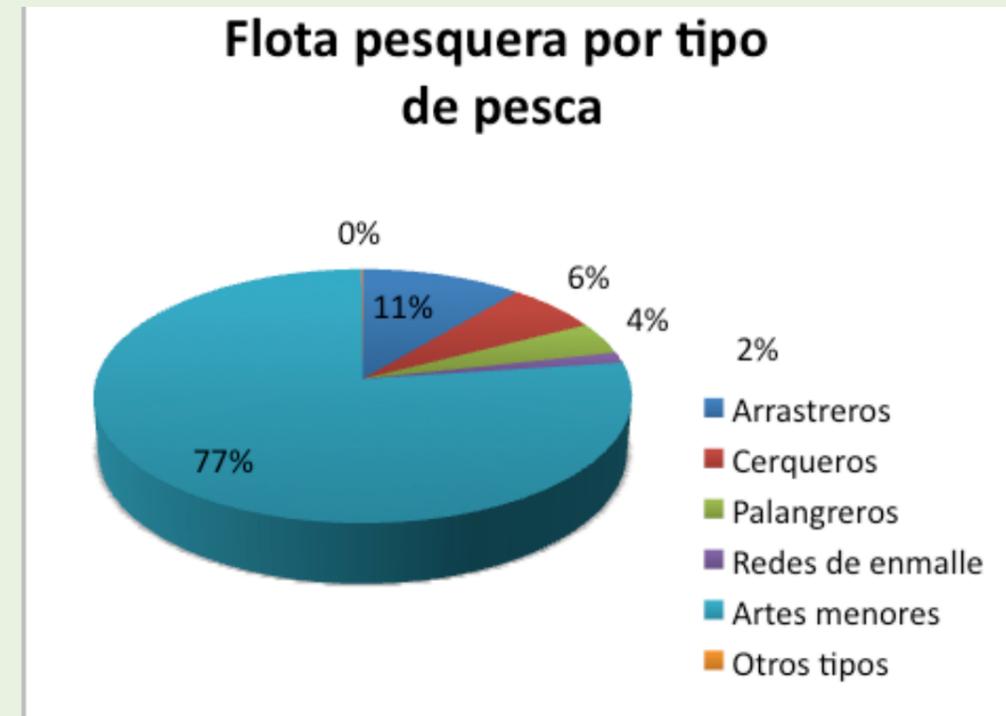


Fig. 19: Reparto de la flota pesquera por tipo de pesca.

El reparto por edades de la flota pesquera española, y en particular de la flota de palangre, es el siguiente:

Edad (años)	Nº Buques	Nº Palangreros
[0-5]	657	24
[6-10]	1.558	113
[11-15]	1.353	115
[16-20]	719	52
[21-25]	1.137	62
[26-30]	1.109	25
[31-35]	537	14
[36-40]	788	10
>40	2.647	15
Total	10.505	430

Tabla 5: Nº Buques por edad.

Como podemos observar, la flota pesquera española tiene una media de edad elevada, habiendo muchos buques por encima de 25 años, y en concreto, muchos buques con más de 40 años; siendo la flota de palangre más joven que la media, con la mayoría de sus buques entre 5 y 25 años.

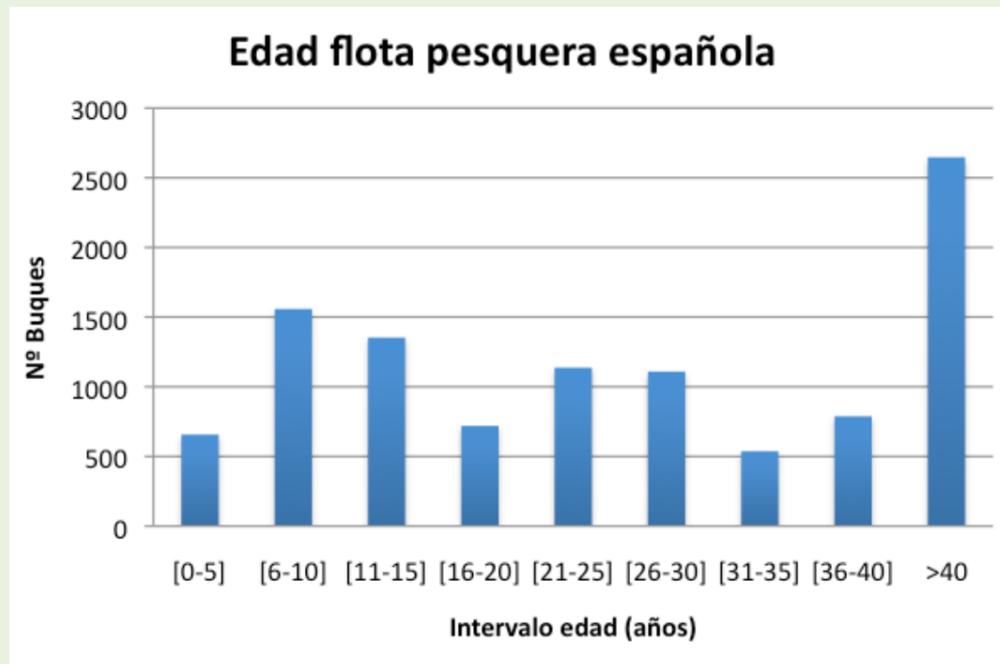


Fig. 20: Reparto de la flota pesquera española por edades.

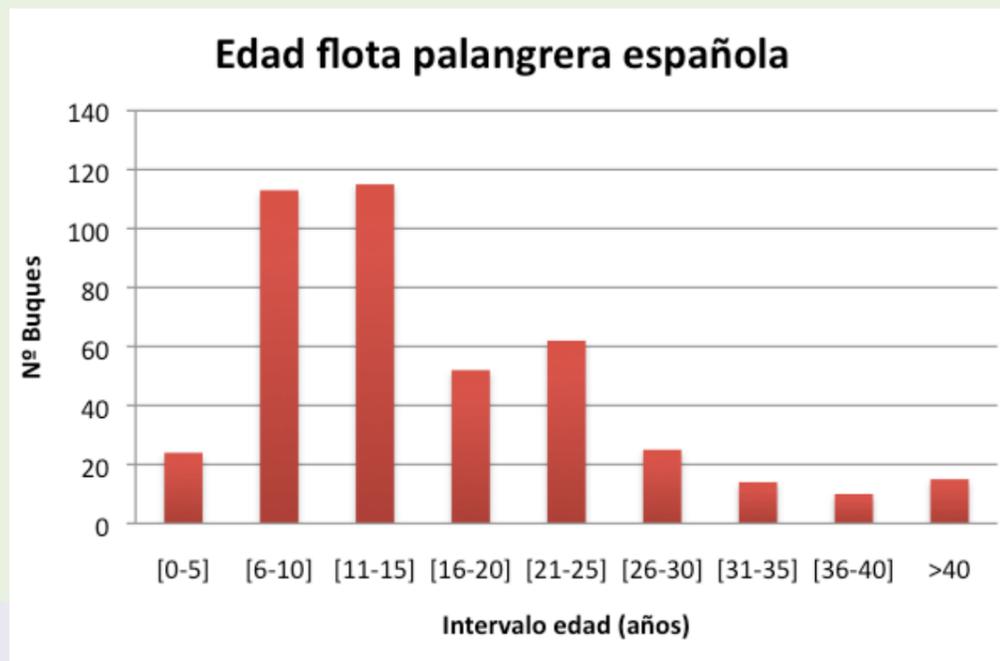


Fig. 21: Reparto de la flota palangrera española por edades.

La división de la flota según los caladeros asociados es la siguiente:

	Nº Buques
Caladero nacional	10.084
Caladeros UE	158
Caladeros internacionales	252
Sin caladero asociado	11
Total	10.505

Tabla 6: Nº Buques por caladero asociado.

La inmensa mayoría de los buques de la flota pesquera española faenan en caladeros nacionales, representando un 96 % del total.

Vemos a continuación cómo ha evolucionado la flota de palangre entre los años 2006 y 2011 en cuanto al arqueo bruto medio, potencia media del motor principal y eslora total media, según el caladero asociado:

Año 2006	Nº Palangreros	GT medio	Pot. Media (kW)	LOA media (m)
Caladero nacional	395	62	136	16,56
Caladeros UE	26	141	250	23,80
Caladeros internacionales	113	324	441	33,86

Año 2009	Nº Palangreros	GT medio	Pot. Media (kW)	LOA media (m)
Caladero nacional	354	66	141	17,04
Caladeros UE	22	143	250	24,02
Caladeros internacionales	108	360	488	34,40

Año 2011	Nº Palangreros	GT medio	Pot. Media (kW)	LOA media (m)
Caladero nacional	317	67	140	17,25
Caladeros UE	15	147	259	24,43
Caladeros internacionales	98	364	488	34,47

Tabla 7: Tablas resumen evolución características flota de palangre española según caladero 2006-2011.

Mientras el número de buques operativo ha ido disminuyendo para todos los caladeros, los arqueos, potencias y esloras han ido aumentando. Esto puede deberse a dos factores, bien que los buques que han dejado de operar sean los de menor tamaño, bien que los nuevos buques sean de mayor porte.

Teniendo en cuenta que los buques más pequeños, por la situación actual del mercado pesquero, tienen una menor rentabilidad, y que los buques de nueva construcción tienden a ser cada vez de mayores dimensiones, todo parece indicar que ambos factores mencionados se han dado al mismo tiempo.

Las siguientes gráficas muestran de una manera más visual la evolución de las esloras, potencias y arqueos de la flota de palangre española:

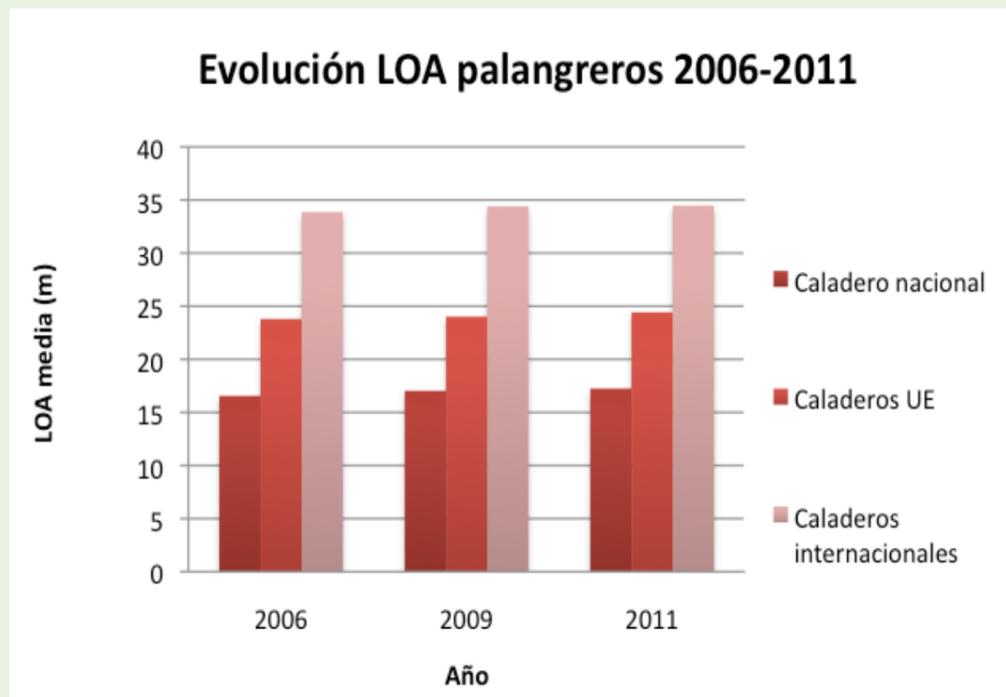


Fig.22 Evolución LOA media flota palangre española 2006-2011

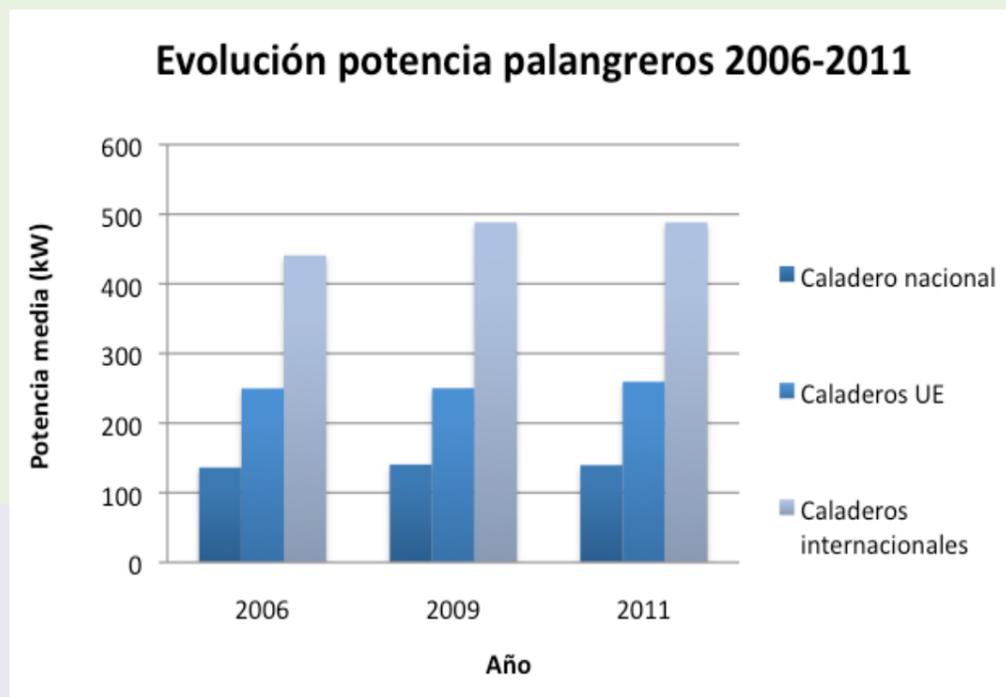


Fig.23 Evolución potencia media flota palangre española 2006-2011

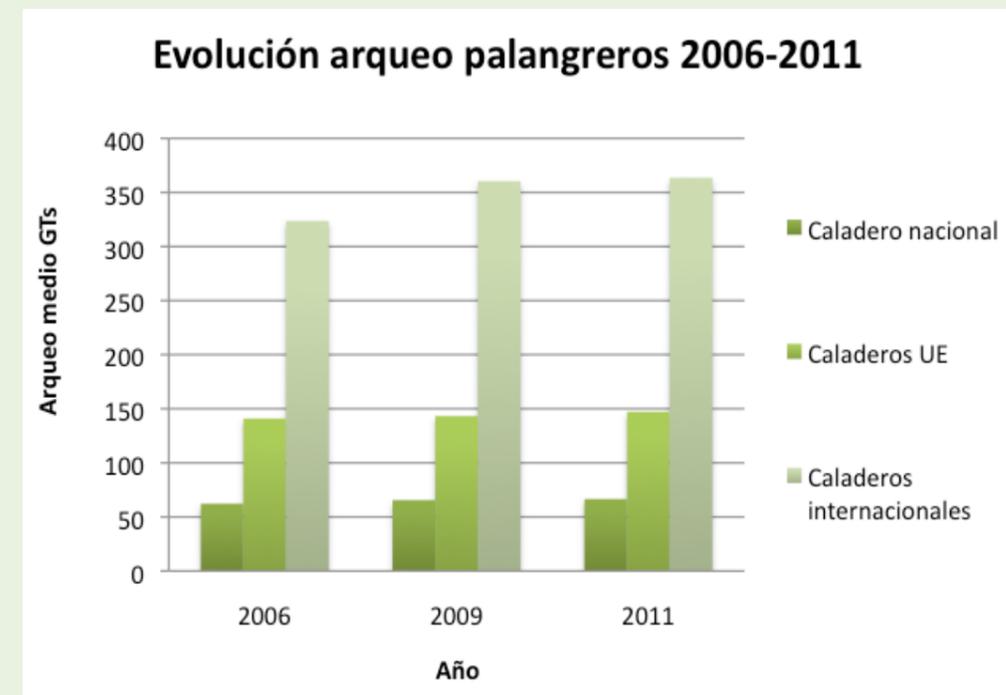


Fig.24 Evolución arqueo bruto medio flota palangre española 2006-2011

Como vemos, el tamaño medio de los buques palangreros españoles es reducido. Respecto a los caladeros asociados vemos que la mayoría de los buques faenan en caladeros nacionales, un 74 %, casi un 23 % en caladeros internacionales, y el resto en caladeros de la Unión Europea (sin incluir España).

Como podemos observar, son los buques de mayor porte los que faenan en aguas internacionales y europeas, mientras que los de menor tamaño faenan en caladeros nacionales. Esto se debe a que tienen una menor capacidad de bodegas, así como una menor capacidad de combustible, y por tanto de autonomía, de manera que se ven obligados a realizar mareas más cortas y acudir a caladeros más cercanos.

NOTA: Todos los datos aportados se han obtenido de las estadísticas pesqueras publicadas por el Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, en Abril de 2012, y hacen referencia a los datos registrados hasta el día 31 de Diciembre de 2011.



4. INTRODUCCIÓN A LA FLOTA EN ESTUDIO

Con todos los datos disponibles, obtenidos durante la fase de recogida de datos, se procede a realizar una caracterización particular de la flota en estudio.

El reparto de los buques en estudio entre las diferentes asociaciones participantes en el proyecto es el siguiente:

Asociación	Nº Buques
ARVI	10
ORPAGU	11
Carbopesca	6

Tabla 8: Nº Buques por asociación.

Reparto de buques por asociación

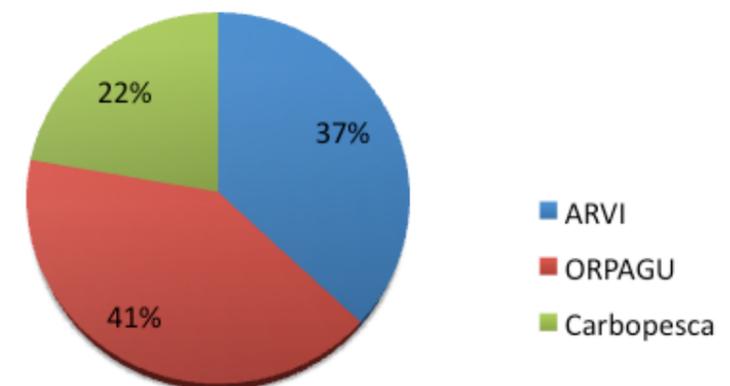
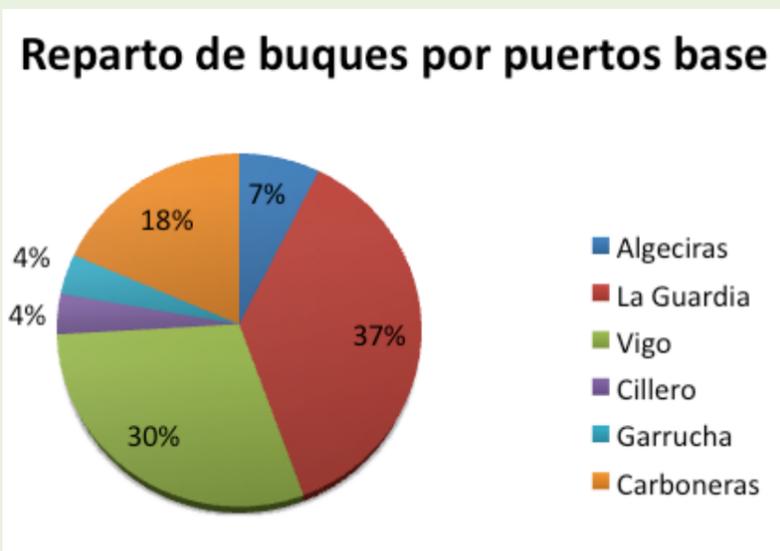


Fig. 25: Reparto buques por asociación.

En la distribución de buques por puertos base, vemos que destaca Galicia, con dos de sus grandes puertos, el Puerto de Vigo y el Puerto de La Guardia, seguidos de Carboneras, Andalucía:



Puerto base	Nº Buques
Algeciras	2
La Guardia	10
Vigo	8
Cillero	1
Garrucha	1
Carboneras	5

Tabla 9: Nº Buques por puerto base.

Fig. 26: Reparto buques por comunidad autónoma del puerto base.

Un 70 % de los buques, 19 de ellos, tiene puerto base en Galicia, el 30 % restante lo tiene en Andalucía.

Respecto a la edad de la flota podemos constatar que nos encontramos ante un grupo buques relativamente joven, diecinueve de ellos, un 70 % del total, con año de entrada en servicio del año 2000 en adelante:



Fig. 27: Año entrada en servicio de cada buque.

La siguiente tabla nos muestran los astilleros de construcción de los buques en estudio. Todos fueron construidos en España, destacando principalmente los astilleros gallegos, y entre ellos, Astilleros Armón y Cíes:

Astillero	Nº Buques
Armada	1
Cíes	6
Armón Vigo	5
Armón Burela	5
Armón Navia	3
Marín	2
Valiña	1
Pasaia	1
A Xunqueira	1
Joaquín Castro	1
Asfibe	1

Tabla 10: Nº Buques por astillero de construcción.

La distribución de buques por comunidad autónoma de construcción pone de relieve el peso del sector naval gallego a nivel nacional:



Fig. 28: Reparto buques por comunidad autónoma de construcción.

Comunidad	Nº Buques
Galicia	22
País Vasco	1
Asturias	3
Valencia	1

Tabla 11: Nº Buques por comunidad autónoma construcción.

Puede decirse que la flota de palangre de superficie tiene una cierta uniformidad, al dedicarse todos los buques incluidos en el censo al mismo oficio, y estar equipados para una técnica de pesca similar.

Sin embargo se puede dividir la flota de palangre de superficie en dos grandes grupos, palan-greros costeros al fresco y palan-greros congeladores de alta mar. Las principales características de los mismos son las siguientes:

PALANGREROS COSTEROS AL FRESCO

Se trata de buques de escasos medios y de dimensión muy reducida, la mayoría con casco de poliéster y el resto de madera. La mayoría de ellos sólo puede pescar en el Mediterráneo, realizando mareas de aproximadamente un día, día y medio; algunos otros también pueden pescar en cala-dero nacional hasta 80 millas, realizando mareas de entre diez y quince días.

Cuentan con una habilitación muy limitada y conservan el pescado al fresco, los de mayor por-te suelen contar con una máquina de hielo.

La demanda de potencia eléctrica a bordo es muy baja, y en la gran mayoría de los casos se cubre con un generador de cola casi la totalidad de la misma. En general la maquinaria hidráulica de cubierta también es movida por el principal. Los motores auxiliares apenas tienen uso.



Fig. 29: Palan-greros costeros al fresco.



Fig. 30: Palan-greros congelador de alta mar.

PALANGREROS CONGELADORES DE ALTA MAR

Se trata de buques con cascos contruidos en acero. De dimensiones significativamente mayores que las del anterior grupo, proporcionándoles una capacidades de bodegas y combustible bastante más elevadas, lo que les permite realizar mareas de hasta tres o cuatro meses. Muchos de ellos faenan en aguas internacionales.

Su habilitación, así como los equipos instalados a bordo, son más avanzados y de mayor ca-pacidad, produciéndose una mayor demanda de potencia eléctrica. En general cuentan con dos túneles de congelación.

La demanda de potencia eléctrica es suplida, salvo excepciones, por los motores auxiliares y el motor principal se utiliza principalmente para la propulsión del buque.

Debido a la diferencia en dimensiones, caladeros asociados y material de fabricación del casco, entre ambos grupos de buques, las maneras de faenar y trabajar a bordo, el perfil operativo, equi-pos e instalaciones, características constructivas, autonomía, etc., son tan diferentes entre ellos que no sería procedente hacer un estudio conjunto de los mismos.

NOTA: Por motivos de confidencialidad no se referirá a los buques por su nombre sino por un nú-mero que se les asociará, los buques pertenecientes a ARVI, se numerarán del 1 al 10, los buques per-tenecientes a ORPAGU, del 11 al 21, y finalmente, los buques pertenecientes a Carbopesca, del 22 al 27.

Por esta razón se procede a la división de los veintisiete buques estudiados en dos grupos, un primer grupo de palan-greros congeladores, formado por los buques de ARVI y ORPAGU (a ex-cepcción del buque Nº3), y un segundo grupo, de palan-greros costeros al fresco, formado por los buques de Carbopesca y el buque Nº3.

De esta manera tenemos la siguiente clasificación:

-Grupo 1- Buques Nº: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

-Grupo 2- Buques Nº: 3, 21, 22, 23, 24, 25, 26.

Además de las razones expuestas para la realización de esta división, es importante indicar que las diferencias existentes entre ambos grupos, además de impedir un estudio conjunto de los mismos, impiden la posibilidad de extrapolación de ciertos datos y cálculos entre ellos.

Las siguientes gráficas dejan patentes algunas de las diferencias mencionadas entre ambos grupos de buques. La distribución de los buques en estudio según el caladero asociado es la siguiente (pescando todos los buques de Carbopesca en caladeros nacionales):

Caladero	Nº Buques
Nacional	13
Internacional	13
Mixto	1

Tabla 12: Nº Buques por caladero.

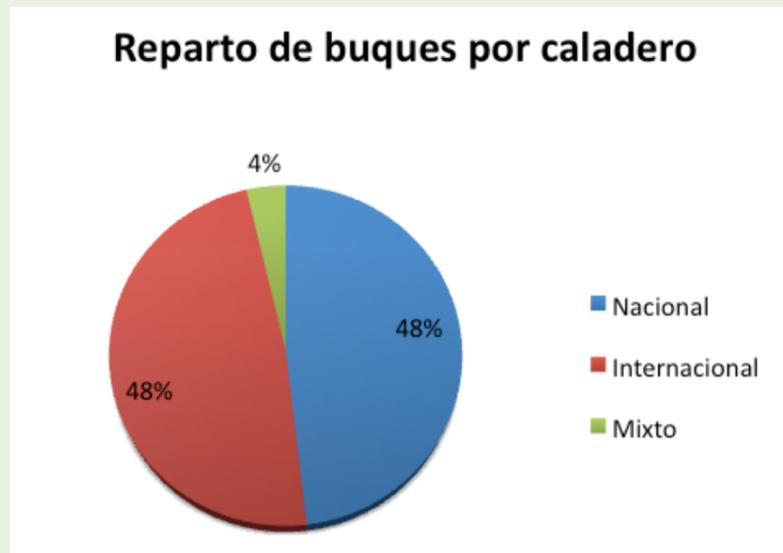


Fig. 31: Reparto buques por caladero.

Todos los buques pertenecientes a ARVI y ORPAGU, a excepción del Nº 3, tienen el casco construido en acero, los buques de Carbopesca están fabricados en poliéster, y el buque Nº 3 en madera:

Casco	Nº Buques
Acero	20
Poliéster	6
Madera	1

Tabla 13: Nº Buques por material casco.

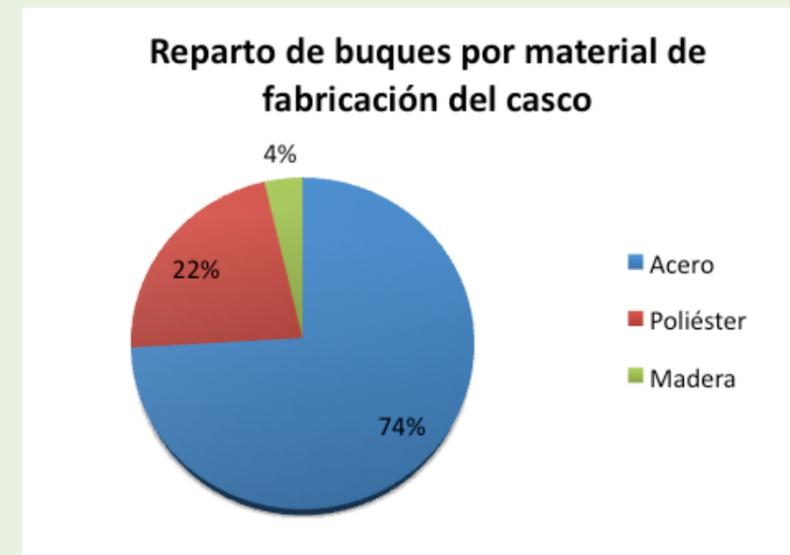


Fig. 32: Reparto buques por material de fabricación del casco.

Las diferencias entre los tamaños, capacidades y formas, quedan reflejadas en los siguientes gráficos de distribución de esloras entre perpendiculares, arcos brutos y coeficientes de bloque:

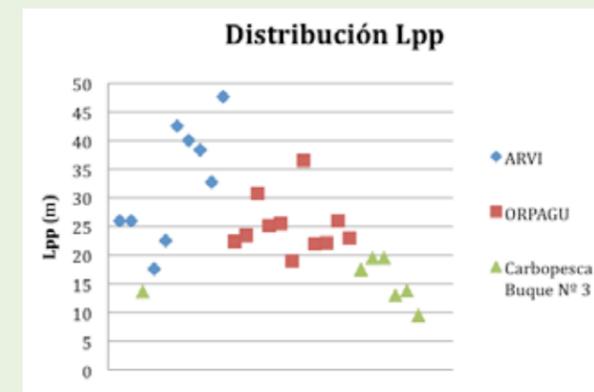


Fig. 33: Distribución Lpp flota en estudio.

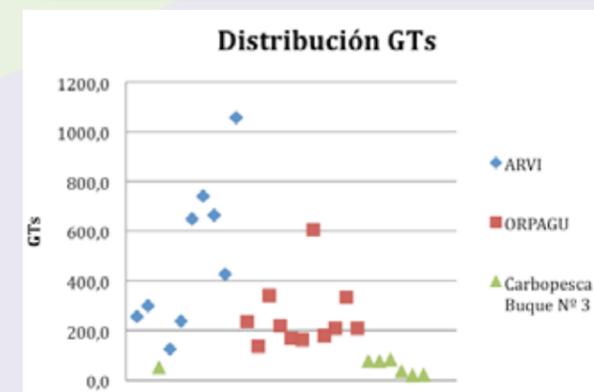


Fig. 34: Distribución Gts flota en estudio.

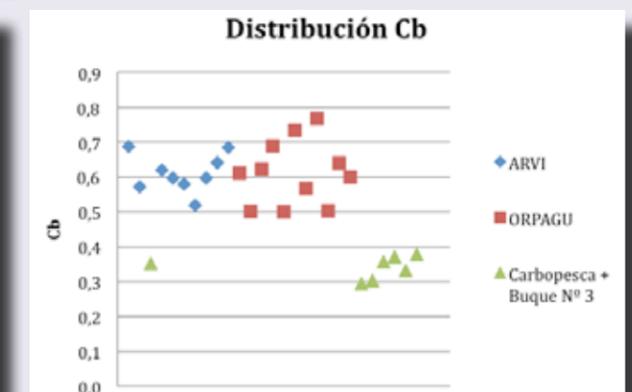


Fig. 35: Distribución Cb flota en estudio.



5. ESTUDIO DEL GRUPO 1

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA

Se procede a una descripción de este grupo de veinte buques en cuanto a las características y dimensiones principales, los motores, equipos e instalaciones a bordo, y el perfil operativo y formas de faenar, comprobando la gran homogeneidad existente entre ellos.

Es importante indicar que el proceso de recogida de datos se enfocó en los datos necesarios para la realización de las auditorías energéticas, y por tanto, esta descripción también está centrada en los mismos.

5.1.1. Características y dimensiones principales

• Disposición general

Se trata de buques construidos en acero, con dos cubiertas corridas, salvo por ciertas aperturas para realizar las labores de pesca.

De manera general, podemos decir que en la cubierta del doble fondo se encuentran los tanques de combustible. En esta cubierta a proa se encuentran las bodegas, y a popa la sala de máquinas. En la cubierta principal tenemos a popa una zona con talleres y diversos compartimientos, tras ella el entrepuente y el parque de pesca, y a proa dos túneles de congelación, uno a babor y otro a estribor; puntualmente los túneles se sitúan a popa del entrepuente.

En la cubierta superior a proa tenemos un área de trabajo para las labores de pesca, en concreto para la recogida del aparejo, y tras ella y hacia popa, parte de la habitación. Por encima de esta última cubierta tenemos la cubierta de toldilla (cubierta de castillo) con el resto de la habitación, y en popa otra zona de trabajo para las labores de largado del aparejo. Finalmente podemos encontrar la cubierta del puente de navegación.

En muchos casos, sobre todo en los buques de menor porte, la zona de habitación se desplaza a la cubierta principal y no existe cubierta de toldilla ni cubierta de puente, sino que el puente se encuentra directamente en la cubierta superior, a proa y popa del mismo se encuentran ambas

zonas de trabajo. Otras veces no hay cubierta de toldilla pero sí cubierta de puente, y tras él la zona de trabajo de popa.

En cualquier caso las indicaciones dadas son de carácter general, la disposición de cada buque es específica del mismo, y por tanto lo dicho anteriormente, puede sufrir ciertas variaciones para cada buque en particular.

A continuación se muestran los alzados correspondientes al plano de disposición general de tres de los buques en estudio, pudiendo observarse algunas de las diferentes disposiciones descritas:

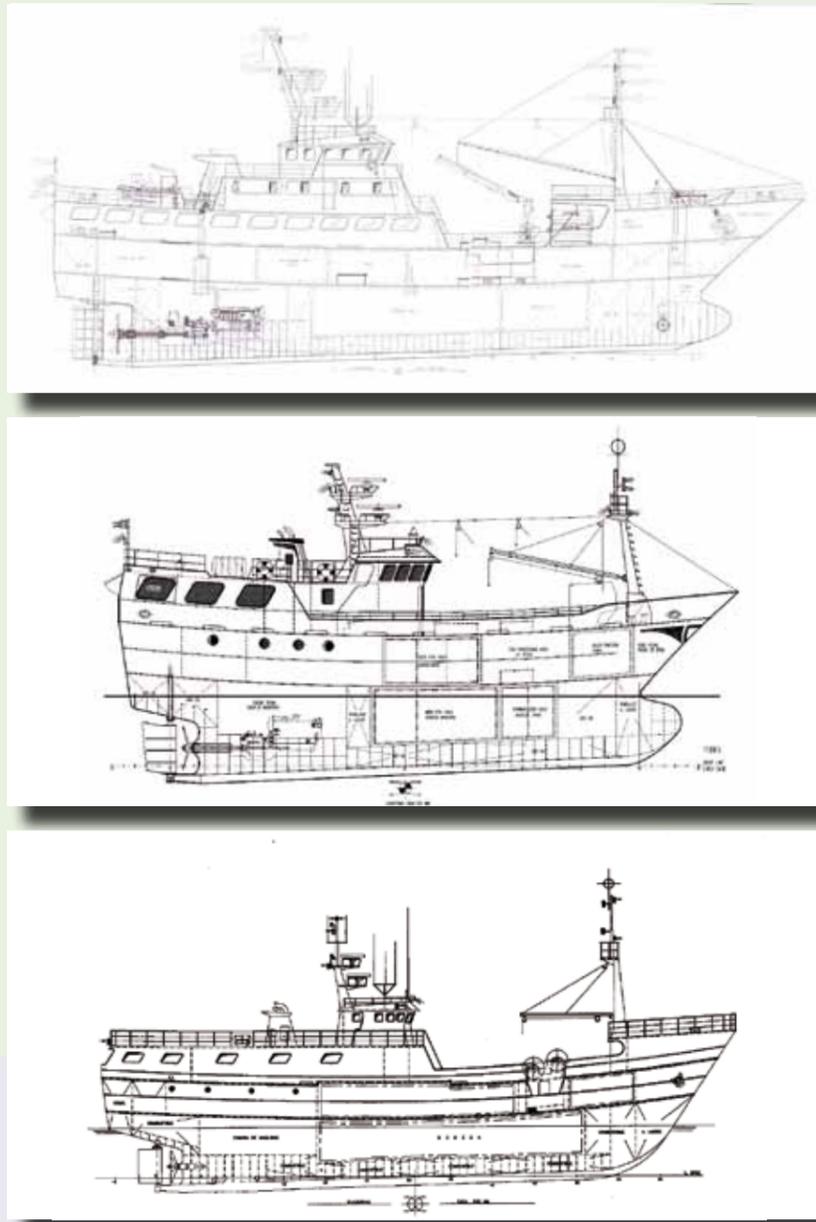


Fig. 36: Ejemplo alzado disposición general buques palangreros.

Y a continuación una disposición general completa:

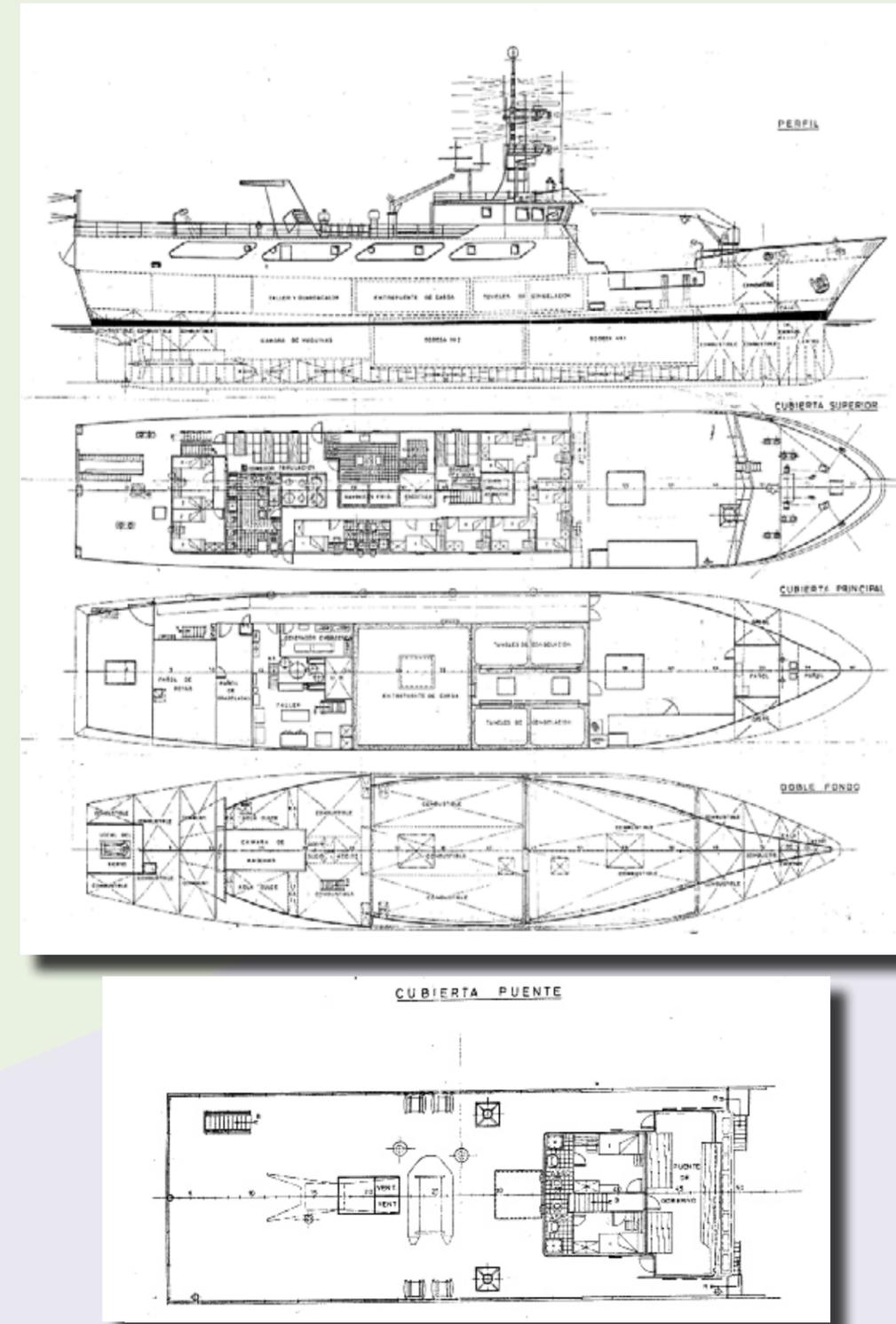


Fig. 37: Ejemplo disposición general buque palangrero.

• Dimensiones principales

Las dimensiones principales dentro de este grupo de buques varían significativamente, encontrándonos esloras entre perpendiculares, Lpp, de entre 17,6 a 47,6 m, mangas de trazado, B, de entre 6,0 y 10,2 m y calados de trazado, T, de entre 2,0 y 4,2 m.

La siguiente gráfica muestra la distribución de los valores que toma la eslora entre perpendiculares:

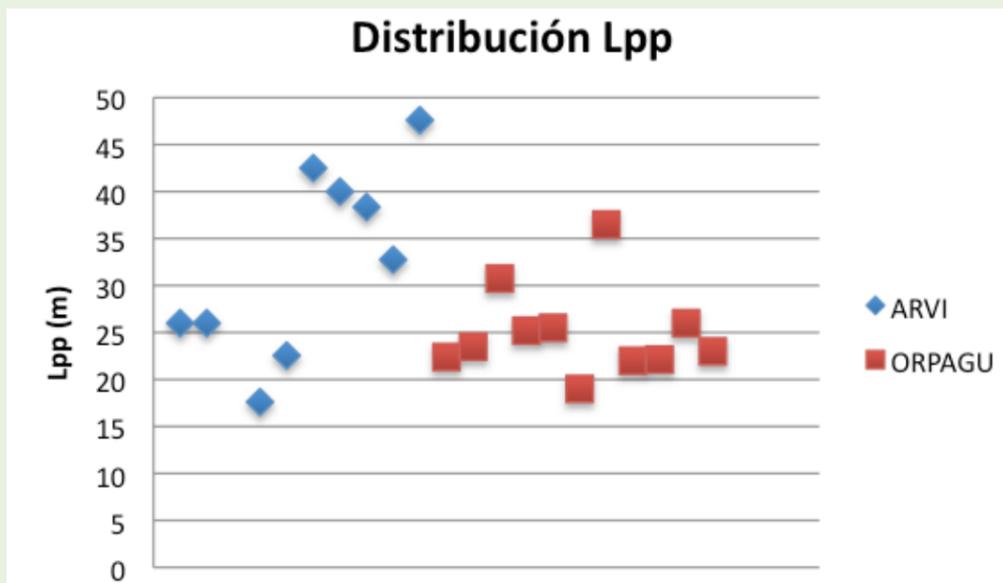


Fig. 38: Distribución Lpp (m).

El grupo principal, es el grupo de buques con valores de Lpp entre 20-30 m, representa el 55% del total:

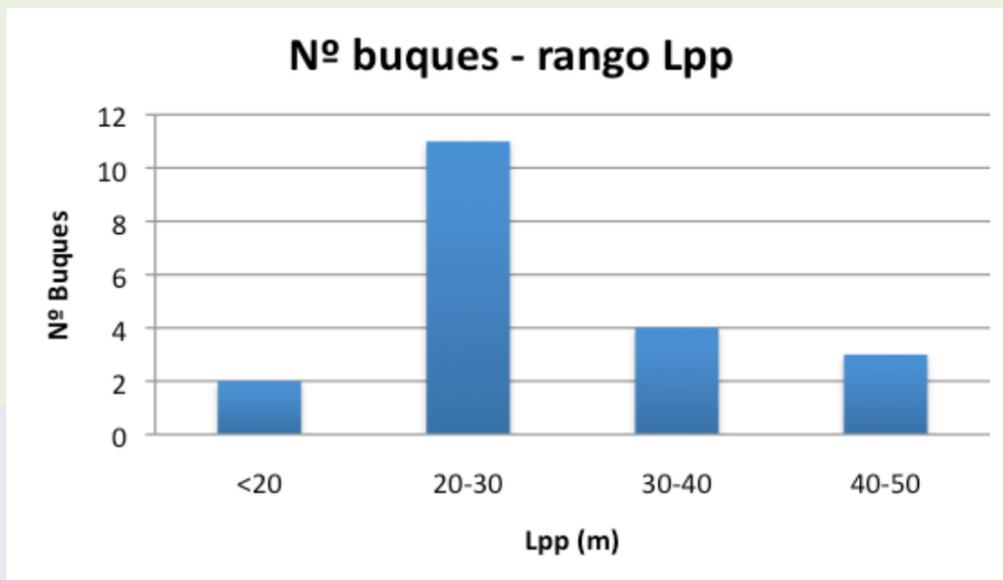


Fig. 39: Nº Buques - rango Lpp (m).

La siguiente gráfica muestra la distribución de los valores que toma la manga de trazado:

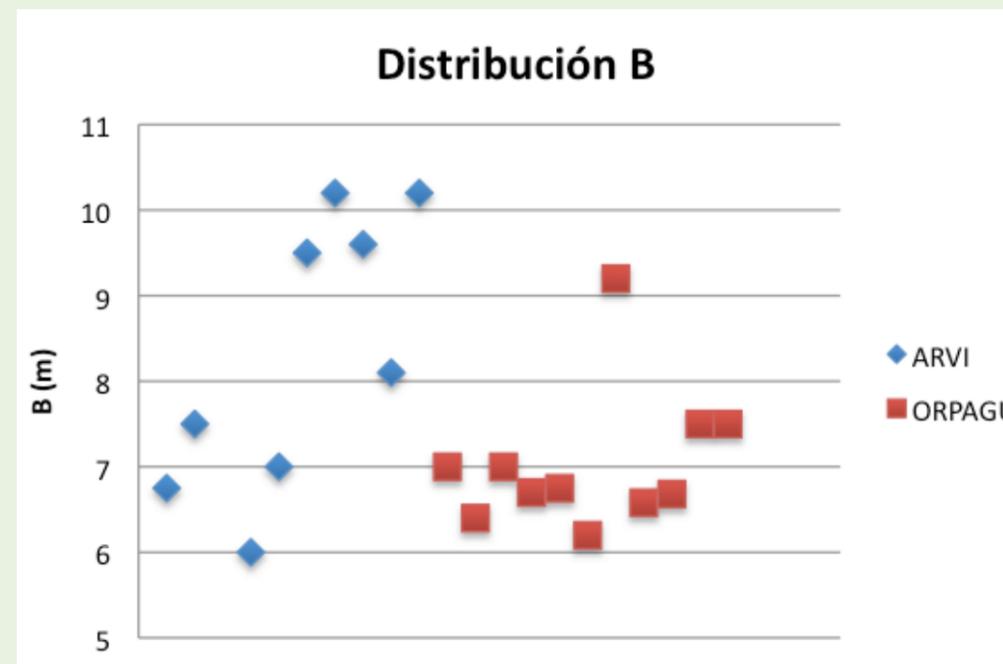


Fig. 40: Distribución B (m).

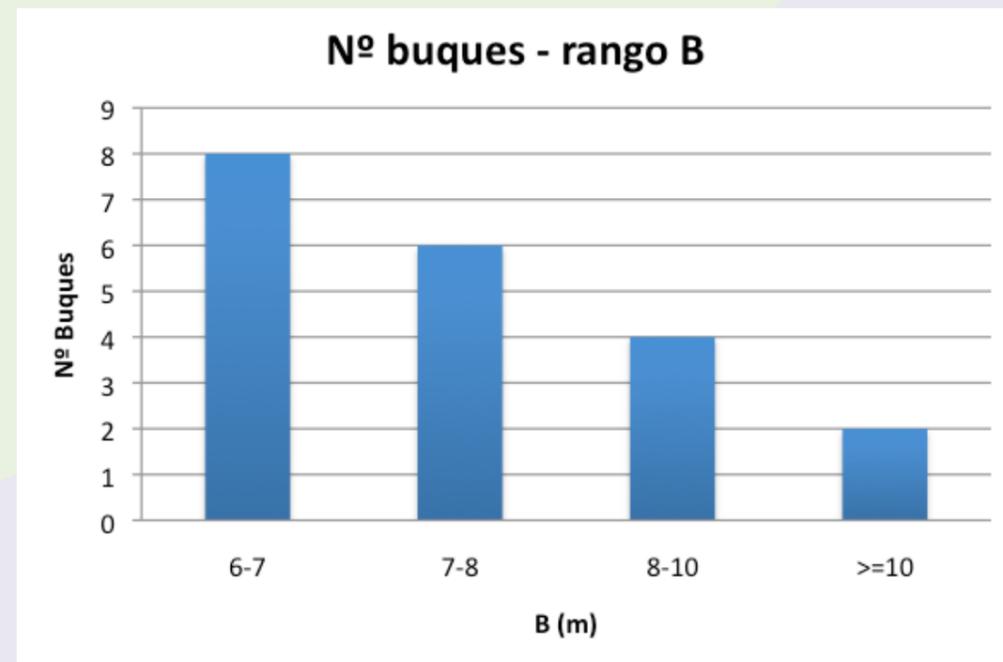


Fig. 41 Nº Buques - rango B (m)

El 70% de los buques tienen mangas de trazado con valores en la franja 6 - 8 m. Sólo 6 de los 20 buques tienen mangas superiores a 8m.

Respecto al calado de trazado de los buques en estudio se tiene la siguiente distribución:

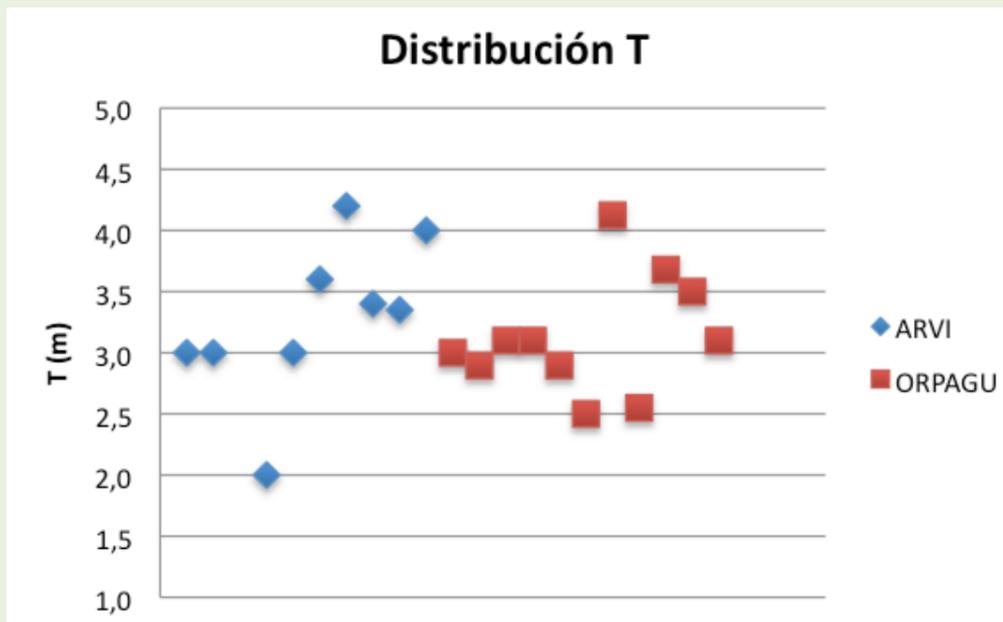


Fig. 42: Distribución T (m).

Destaca principalmente la franja 3,0-3,5 m, conteniendo al 45% de los buques, y teniendo el 75% calados superiores a 3 m:

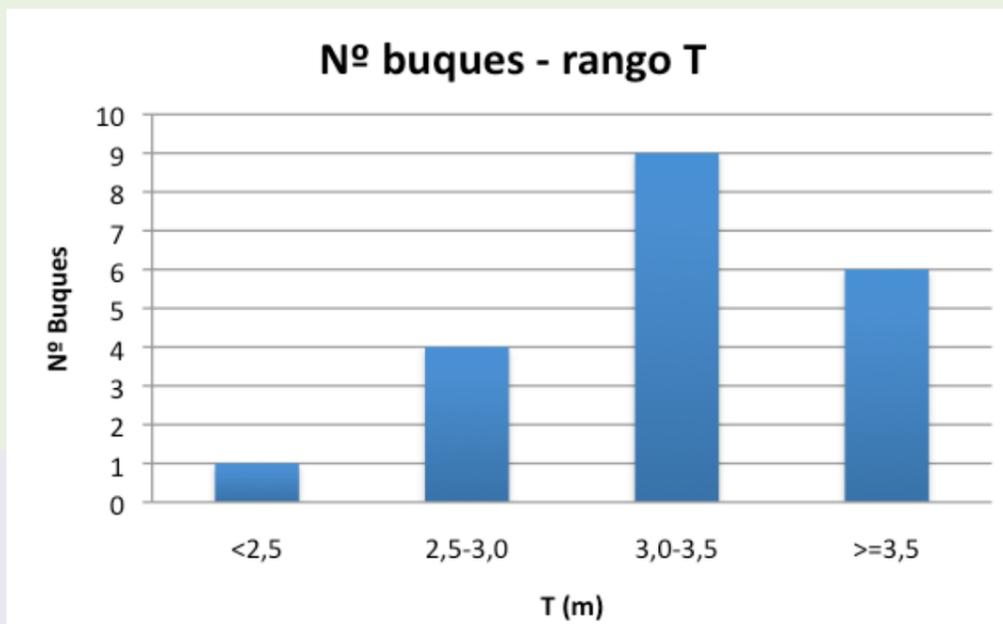


Fig. 43: Nº Buques – rango T (m).

• Formas del buque

Aunque la variación entre dimensiones principales en estos buques es significativa, sí que podemos decir que existe una gran homogeneidad en lo que respecta a las formas de los mismos; esto puede observarse a partir de las relaciones adimensionales entre dimensiones principales.

La relación adimensional Lpp/B varía entre los valores 3,0 y 4,5, aproximadamente, aumentando dicha relación con el tamaño del buque:

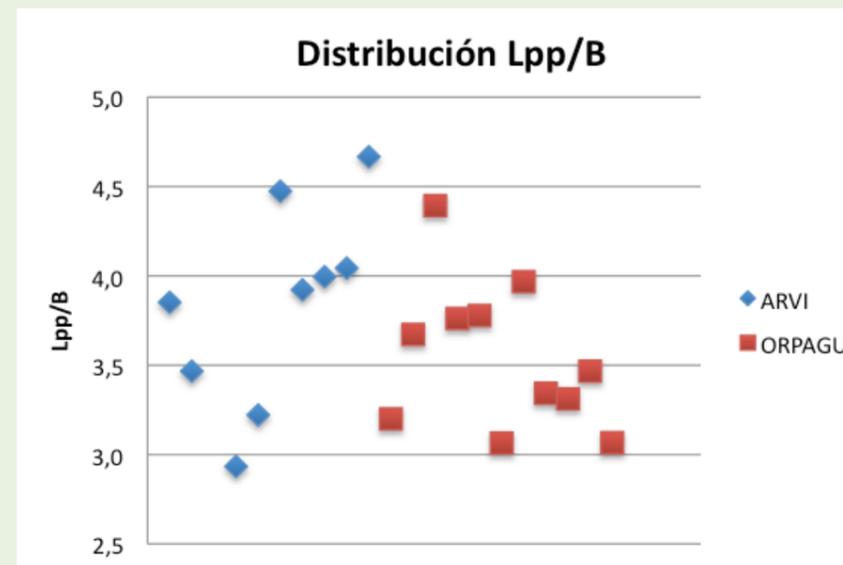


Fig. 44: Distribución relación adimensional Lpp/B.

De manera similar ocurre con la relación Lpp/T, que toma valores entre 6,0 y 12,0, aumentando también con el porte del buque:

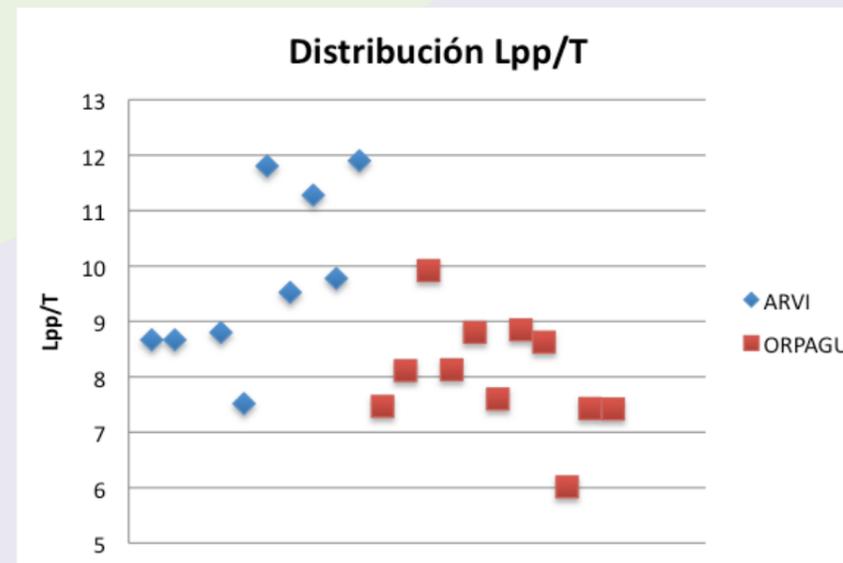


Fig. 45: Distribución relación adimensional Lpp/T.

Por su parte la relación B/T toma valores entre 2,0 y 3,0:

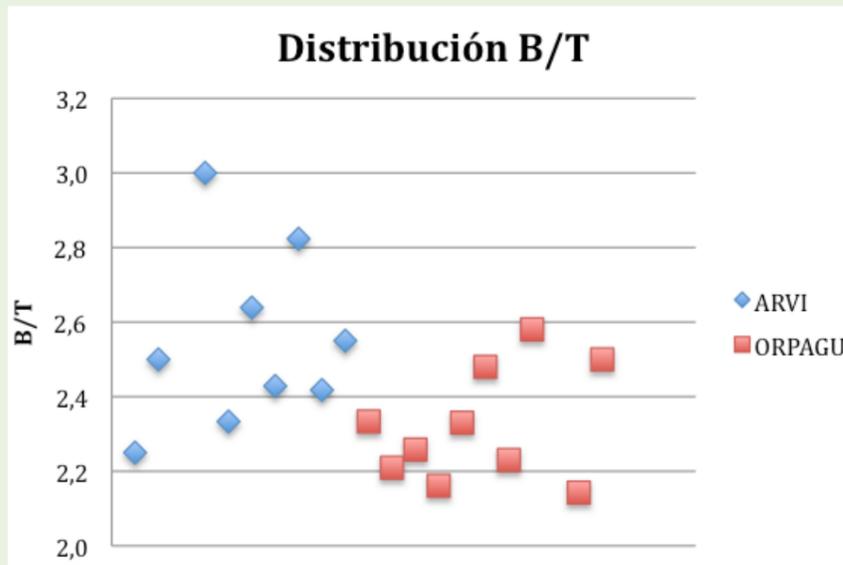


Fig. 46: Distribución relación adimensional B/T.

La citada homogeneidad en cuanto a las formas de este grupo de buques, también se pone de relieve al estudiar la distribución de los siguientes coeficientes adimensionales de formas:

- Cb - Coeficiente de bloque:

$$C_b = \frac{\text{Volumen de la carena}}{L_{pp} \cdot B \cdot P}$$

- Cf - Coeficiente de flotación:

$$C_f = \frac{\text{Área de la flotación}}{L_{pp} \cdot B}$$

- Cm - Coeficiente de la maestra:

$$C_m = \frac{\text{Área de la sección maestra}}{T \cdot B}$$

- Cp - Coeficiente prismático:

$$C_p = \frac{\text{Volumen de la carena}}{\text{Área sección maestra} \cdot L_{pp}}$$

La siguiente gráfica nos muestra la distribución de los coeficientes de bloque, Cb, como vemos el 75% de los buques tiene un Cb entre 0,55 y 0,70:

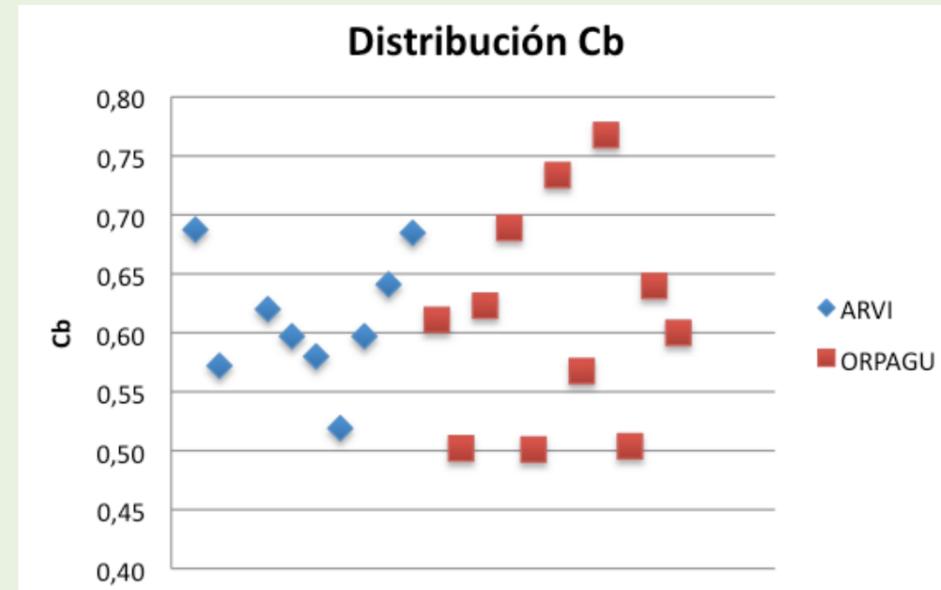


Fig. 47: Distribución coeficientes de bloque, Cb.

Las siguientes gráficas muestran las distribuciones de los coeficientes de flotación, coeficientes de la maestra y coeficientes prismáticos, respectivamente, son principalmente estos tres coeficientes los que ponen de relieve la citada homogeneidad:

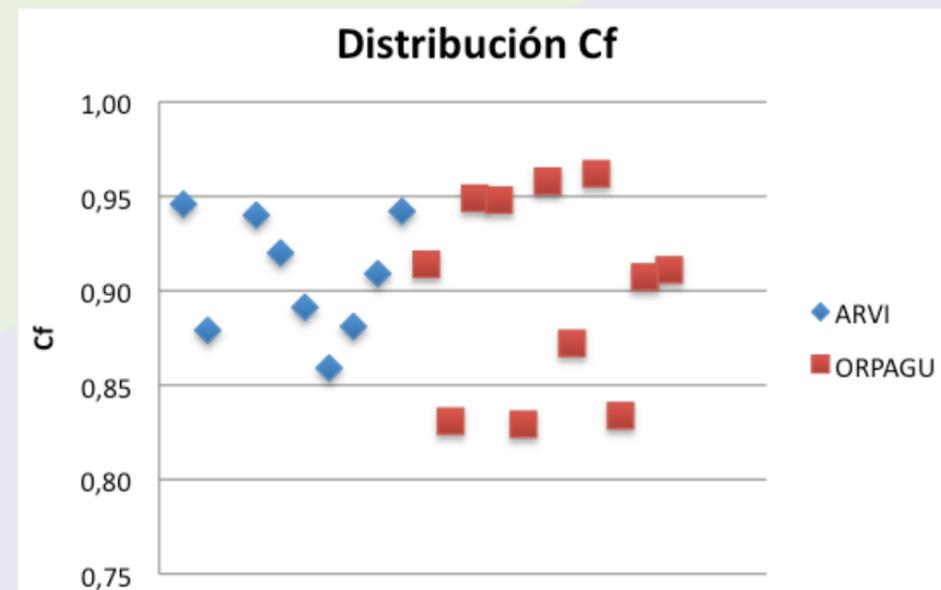


Fig. 48: Distribución coeficientes de flotación, Cf.

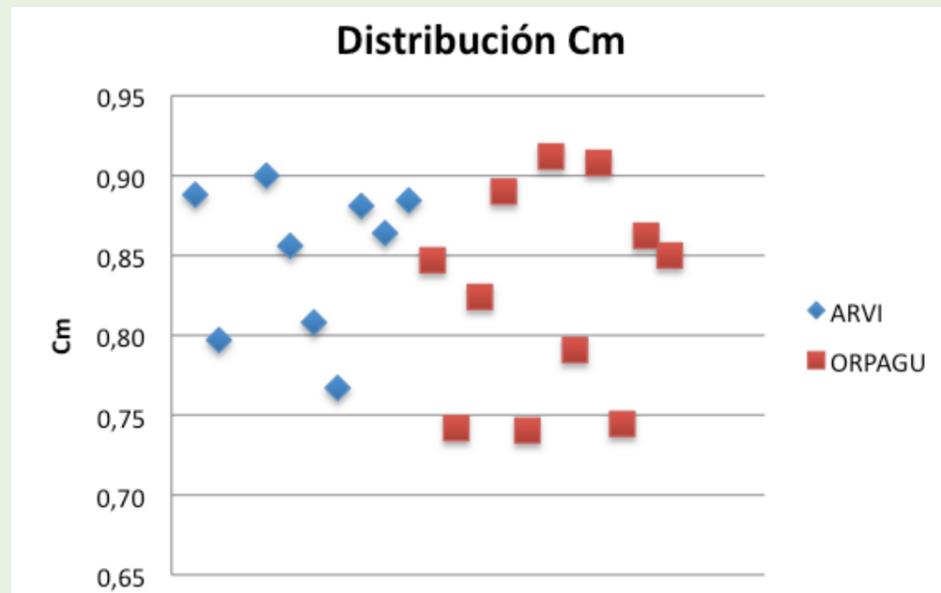


Fig. 49: Distribución coeficientes de la maestra, Cm.

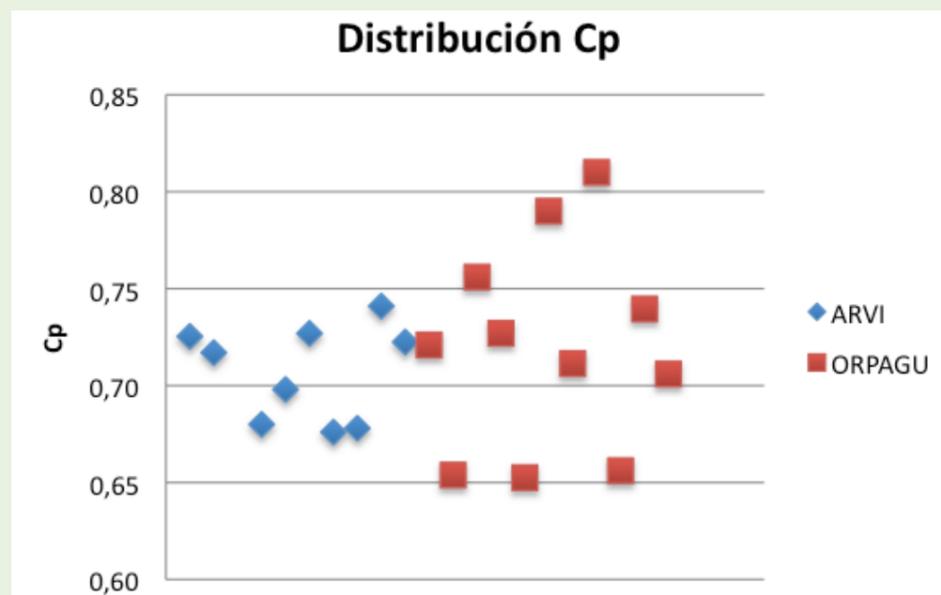


Fig. 50: Distribución coeficientes prismáticos, Cp.

Se encuentra que la relación C_b/C_f se encuentra siempre comprendida entre los valores 0,60 y 0,80, la relación C_b/C_m entre los valores 0,68 y 0,85, y la relación C_b/C_p entre 0,77 y 0,95, lo que sigue poniendo de relieve la uniformidad que existe en esta flota en lo que a las formas se refiere.

Los coeficientes de bloque toman valores medio-altos, lo mismo ocurre con los demás coeficientes estudiados. Se construyen buques con elevados coeficientes de formas buscando mayores volúmenes de carga y combustible.

Finalmente cabe destacar respecto a las formas de proa, que la gran mayoría de los buques estudiados tienen bulbos de proa más o menos pronunciados; y también casi todos ellos tienen popa de espejo.

La primera de las siguientes fotografías, de buques pertenecientes al estudio, nos muestra los bulbos de proa de dos de ellos, pudiendo observar con claridad, como el primero tiene una forma mucho más pronunciada que el segundo. La segunda fotografía nos muestra una típica popa de espejo.



Fig. 51: Comparación de dos bulbos de proa.



Fig. 52: Popa espejo.

• Desplazamiento y capacidades

La distribución de los desplazamientos de los buques en estudio es la siguiente:

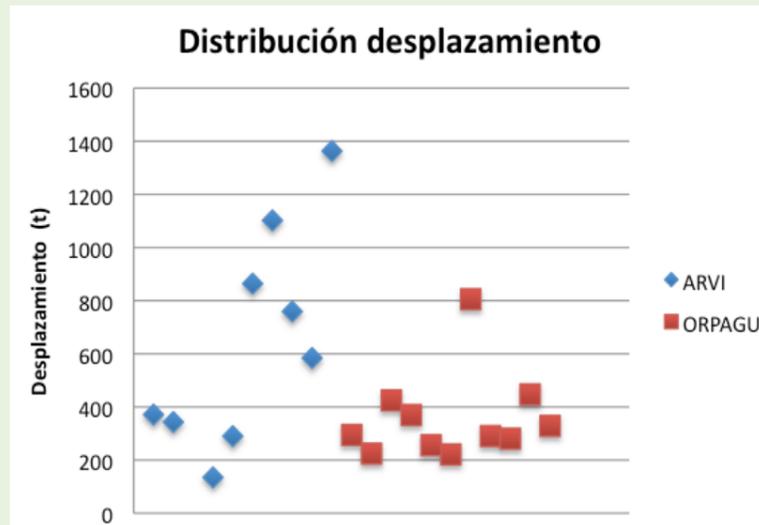


Fig. 53: Distribución desplazamiento (t).

El 70% de los buques en estudio tiene un desplazamiento menor de 450 toneladas.

Como podemos observar, existe mucha más homogeneidad en cuanto al desplazamiento, dentro de la flota de ORPAGU, teniendo casi todos sus buques desplazamientos entre 200 y 400 toneladas. La flota de ARVI tiene varios buques de porte bastante más elevado.

Como era de esperar, ocurre lo mismo con la distribución de los buques en cuanto a sus GTs; la flota de ORPAGU presenta una mayor homogeneidad, teniendo todos sus buques, salvo una excepción, arqueo bruto inferiores a 400 GTs, mientras que la flota de ARVI presenta una menor homogeneidad y buques de mayor porte:

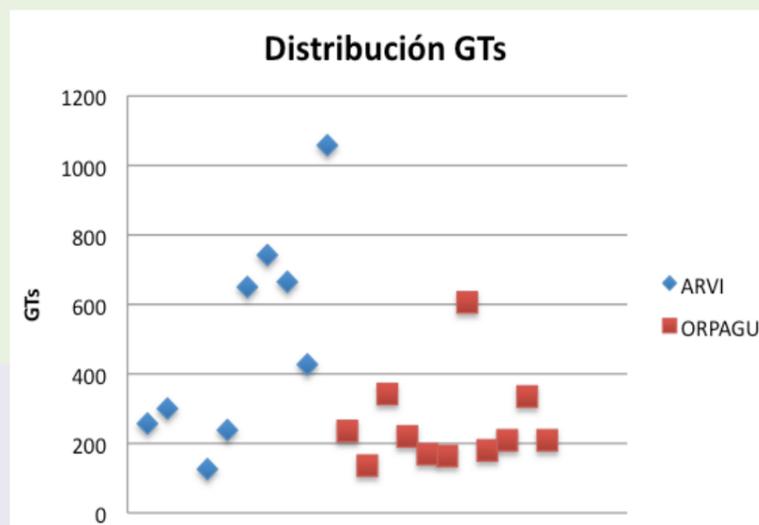


Fig. 54: Distribución GTs.

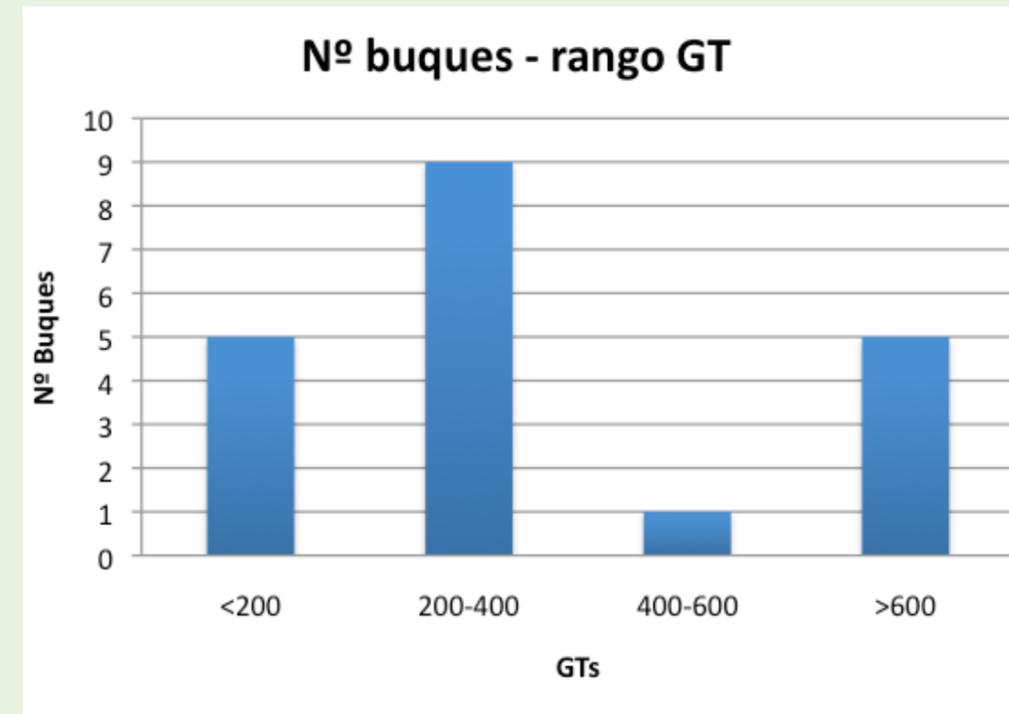


Fig. 55: Nº Buques - rango GTs.

El 75% de los buques tiene un arqueo bruto inferior a 450 GTs.

Como era de esperar, en base a las anteriores gráficas, se encuentra una relación lineal muy acusada entre el arqueo bruto y el desplazamiento de los buques:

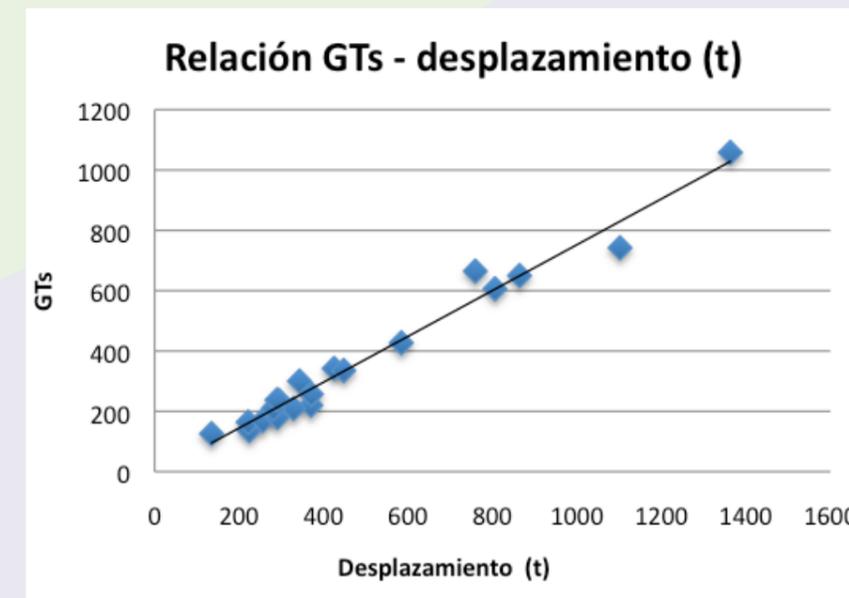


Fig. 56: Relación GTs - desplazamiento (t).

También se encuentra una relación bastante acusada entre el desplazamiento y las dimensiones principales del buque:

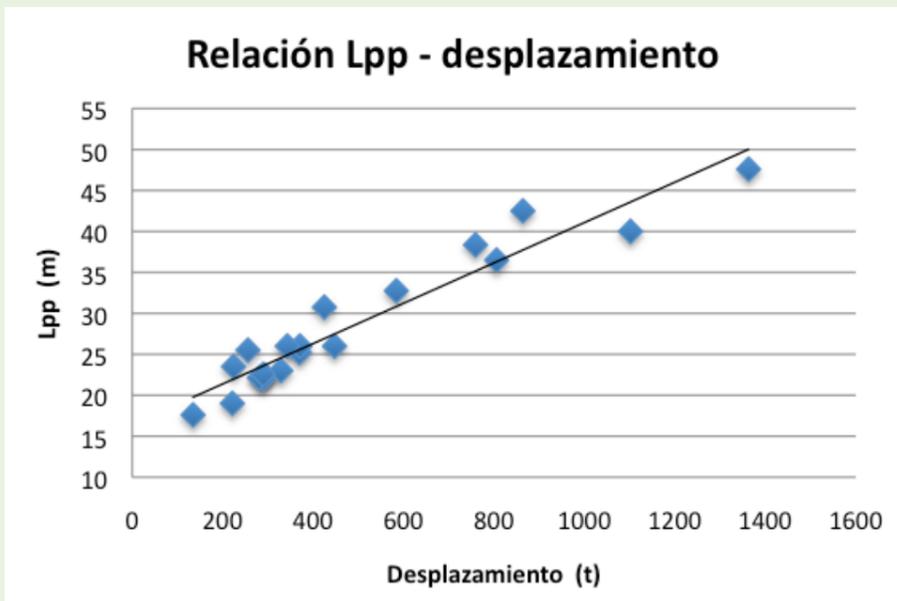


Fig. 57: Relación Lpp - desplazamiento (t).

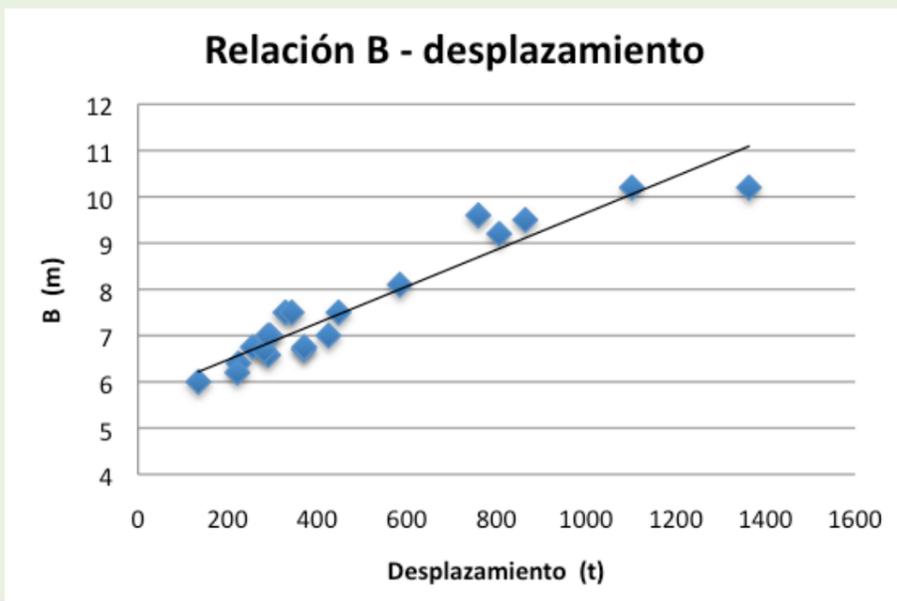


Fig. 58: Relación B - desplazamiento (t).

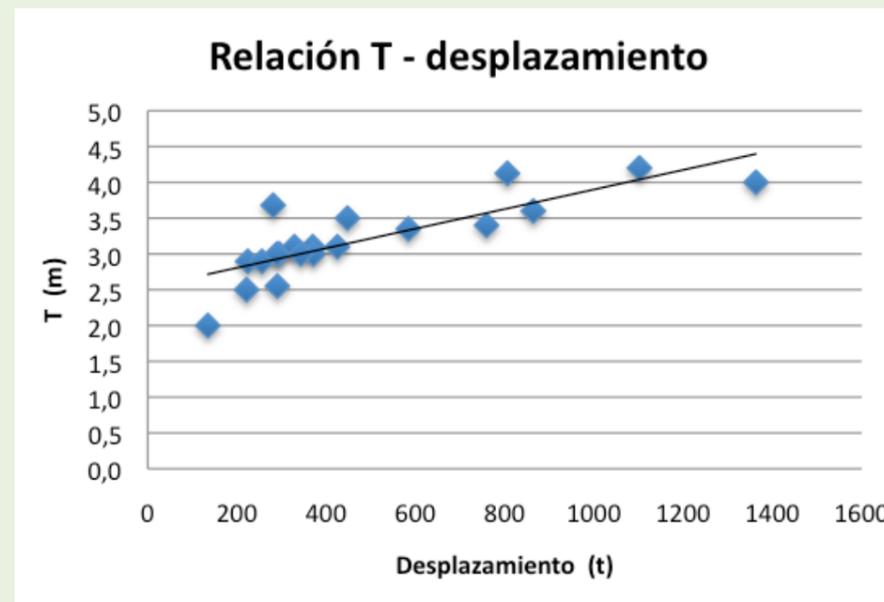


Fig. 59: Relación T - desplazamiento (t).

Las gráficas que se obtienen al relacionar el arqueo bruto del buque y las dimensiones principales son muy similares a las anteriores, debido a la fuerte relación lineal entre GT y el desplazamiento.

Las siguientes gráficas nos muestran las distribuciones de las capacidades de bodegas y combustible, como podemos observar se encuentra que son distribuciones muy semejantes a las de desplazamiento y arqueo bruto, con lo que se espera con ellos una relación bastante acusada:

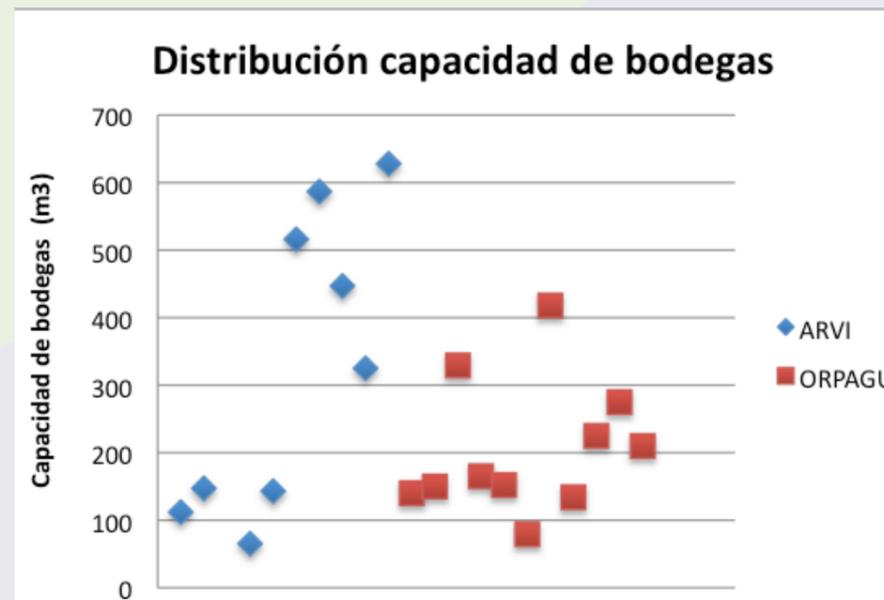


Fig. 60: Distribución capacidad de bodegas (m3).

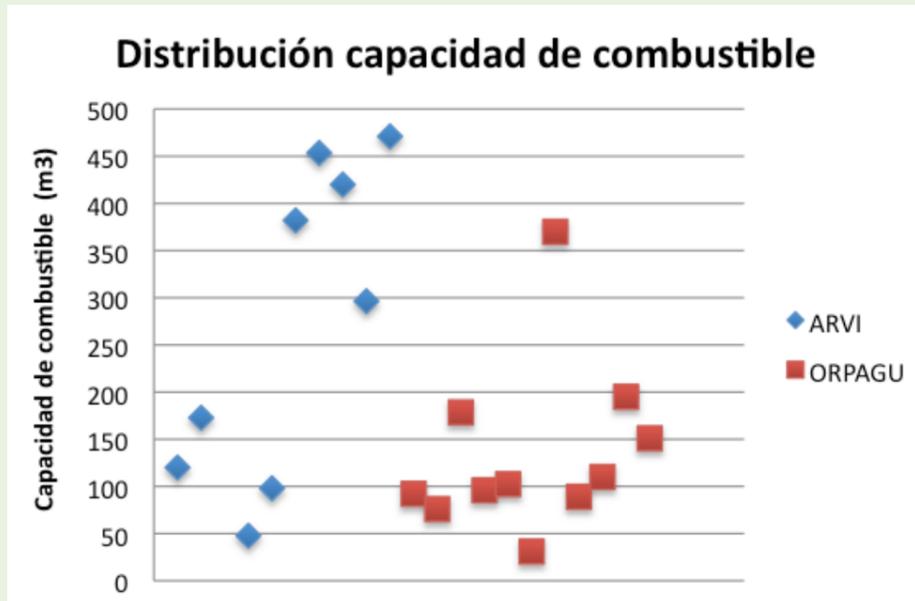


Fig. 61: Distribución capacidad de combustible (m3).

Y como ya se preveía la relación existente entre el desplazamiento y la capacidad de combustible, y entre el desplazamiento y la capacidad de bodegas, es bastante marcada:

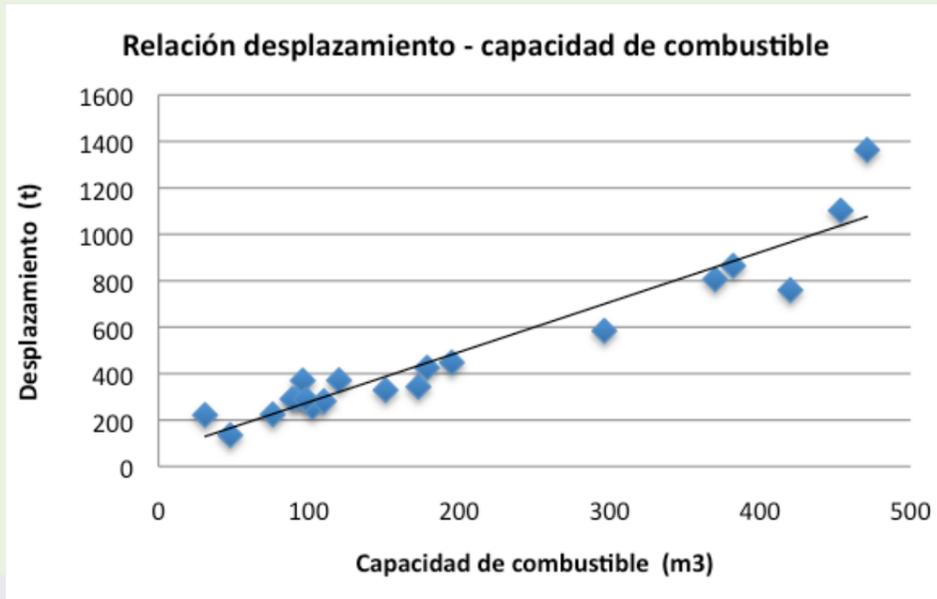


Fig. 62: Relación desplazamiento (t) - capacidad de combustible (m3).

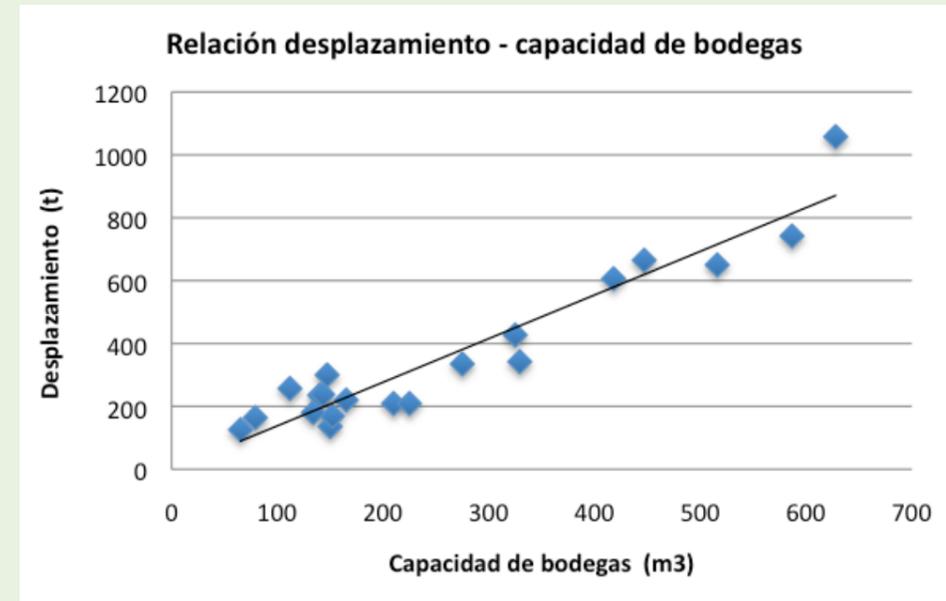


Fig. 63: Relación desplazamiento (t) - capacidad de bodegas (m3).

Relaciones también muy marcadas se encuentran entre ambas capacidades y el arqueo bruto, y entre ellas y las dimensiones principales.

La distribución de las superficies mojadas de los buques es la siguiente:

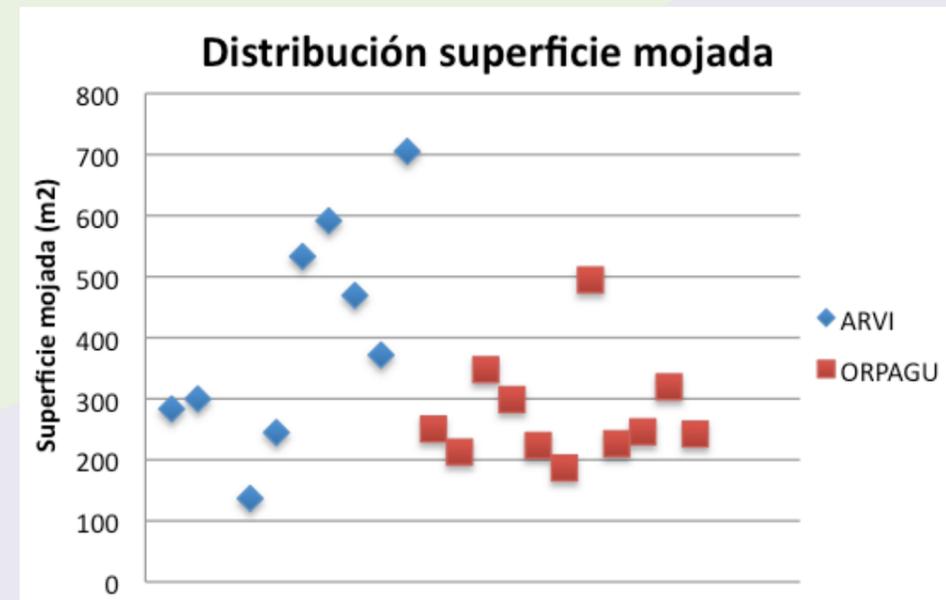


Fig. 64: Distribución superficie mojada (m2).

De nuevo nos encontramos con una distribución similar a la de GTs y a la de desplazamientos y como cabe esperar se encuentran las siguientes relaciones:

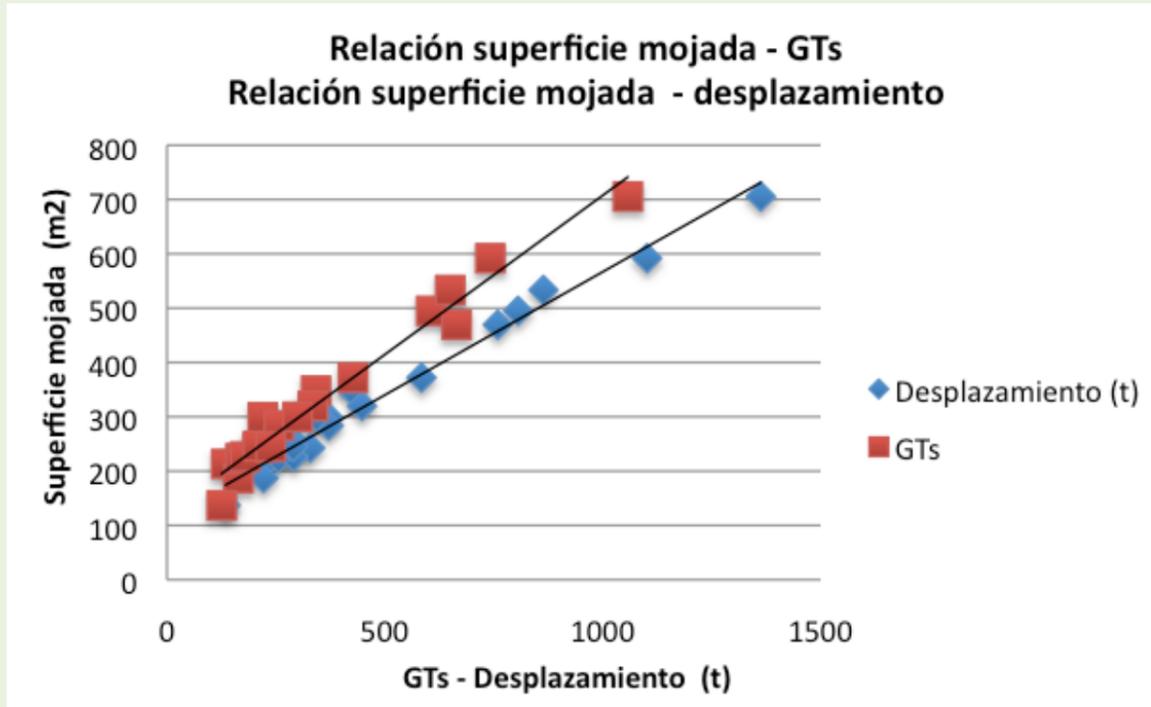


Fig. 65: Relación superficie mojada (m2) – GTs y desplazamiento (t).

5.1.2. Motores y equipos a bordo

• Motor principal

Toda la flota monta el mismo esquema, un solo motor diesel de velocidad variable, media o alta, como motor principal, que se une, a través de un acoplamiento elástico, a un reductor-inversor, y una sola línea de ejes.

Las diferentes condiciones de operación del buque se realizan a velocidades relativamente próximas, de forma que el ajuste de una a otra se realiza simplemente variando las revoluciones del motor.

Teniendo en cuenta que los buques se construyeron en otra época en la que el peso del factor consumo de combustible era mucho menor, podemos decir que la prestación fundamental buscada a la hora de seleccionar el motor principal era la potencia de propulsión, seguida de su fiabilidad y seguridad.

Los motores instalados pertenecen a una amplia gama de potencias y rpm nominales. La siguiente tabla recoge las marcas de los mismos, así como las rpm nominales y potencias nominales, estas últimas vienen dadas en porcentaje de la potencia nominal del buque N° 10, la mayor:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
% Potencia nominal	42%	63%	34%	48%	82%	78%	89%	80%	100%	38%
rpm	1500	1800	1400	1800	916	1000	1200	1200	1200	1400
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
% Potencia nominal	32%	48%	38%	19%	22%	47%	48%	33%	48%	45%
rpm	1300	1800	1200	1200	1160	600	1800	1800	750	1200

Tabla 14: Tabla motores principales: % potencias nominales y rpm.

Siendo la potencia de propulsión del proporcional al producto de la velocidad y la resistencia total al avance, y siendo esta última directamente proporcional a la superficie mojada, cabría esperar una relación acusada entre las potencias nominales de los motores principales y el producto de la velocidad y la superficie mojada:

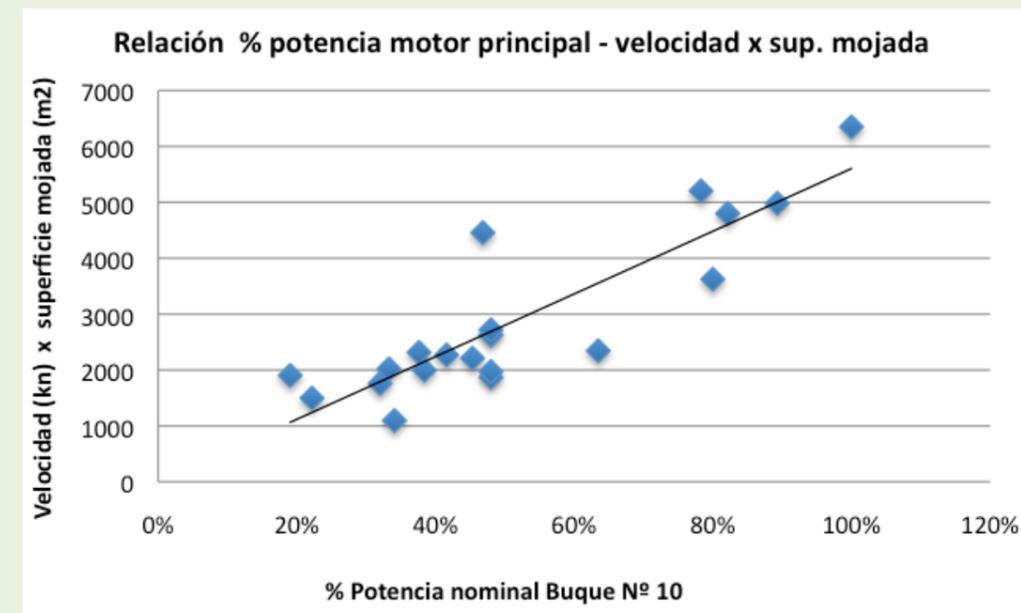


Fig. 66: Relación % potencia buque N°10 – velocidad (kn) x superficie mojada (m2).

La relación es mucho menos acusada de los que cabía esperar en este caso. Lo mismo ocurre con la relación entre dicha potencia y GT, TRB, volúmenes de bodega y combustible, etc., relaciones que también se esperaban bastante altas.

Se pierde así, en cuanto a lo que al motor principal se refiere, toda la uniformidad que veníamos viendo a lo largo del estudio, no encontrándose una relación directa entre la potencia del principal y las necesidades de propulsión del buque.

De ello podemos deducir, que a menudo, la elección de la potencia nominal de los motores no se realiza adecuadamente, lo cual desemboca en muchos casos, en motores mal dimensionados y por lo tanto, en consumos más elevados de los necesarios al trabajar los motores lejos de su punto óptimo de funcionamiento; además de provocar un envejecimiento prematuro de los mismos.

El rango de rpm nominales del motor se encuentra entre 600 y 1800 rpm.



Fig. 67: Motor principal.

En referencia a las casas de los motores destacan Guascor y Caterpillar, representado entre ambas un 65% del total:

Motor principal	
Marca	Nº Buques
Guascor	7
Caterpillar	6
Volvo Penta	2
ABC	2
Deutz	1
Wärtsila	1
Mitsubitshi	1

Tabla 15: Nº Buques por marca del motor principal.

Reparto motores principales por marca

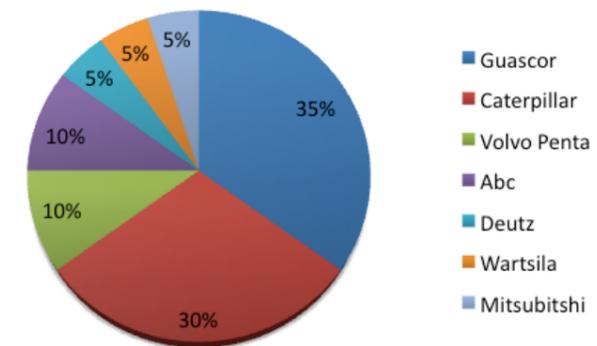


Fig. 68: Reparto motores principales por marca.

• Conjunto hélice - timón

Se trata de buques con una sola línea de ejes, que montan hélices convencionales, de 4 ó 5 palas, de paso fijo, FPP, a excepción del buque N° 8, que lleva instalada una hélice de paso variable, CPP, con mando combinado.

De los datos recopilados se obtiene la siguiente distribución entre hélices de cuatro y cinco palas:

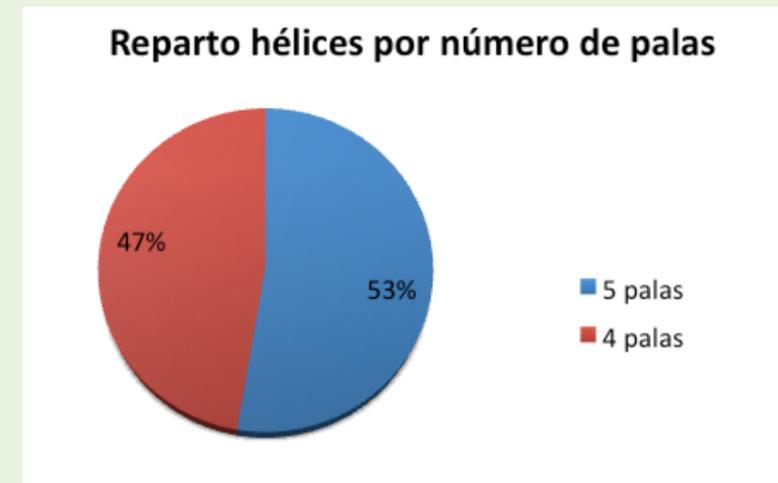


Fig. 69: Reparto hélices por número de palas.



Fig. 70: Hélices de cuatro y cinco palas.

Los diámetros de las hélices montadas en los buques en estudio son los siguientes:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Diámetro (m)	1,7	2,2	1,6	1,9	1,4	2,4	2,6	2,2	2,5	1,9	1,9	2,0	2,0	1,9	1,9	2,3	1,8	1,9	2,2	2,0

Tabla 16: Diámetro hélices.

La relación de reducción varía mucho, tomando valores entre 1:3 y 1:6, dependiendo principalmente de las revoluciones nominales del principal, y en general, creciendo con ellas. De esta manera las rpm del propulsor se encuentran comprendidas entre 200 rpm, para un principal del 600 rpm y una relación de reducción de 3:1, y 450 rpm, para un principal de 1800 rpm con una relación de reducción de 4:1:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Relación reducción	6,0	4,8	4,1	4,0	3,2	3,9	5,8	3,9	4,8	5,1
rpm hélice	250	375	341	450	290	256	205	307	253	274
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Relación reducción	4,4	4,4	5,0	4,1	4,0	3,0	4,4	5,0	3,1	3,9
rpm hélice	295	409	238	293	290	200	409	360	244	308

Tabla 17: Tabla resumen reductoras: relación de reducción y rpm hélice.

La principal marca fabricante de las reductoras que montan estos buques es Reintjes WAF, con un 45 % del total, seguida de Guascor y Masson:

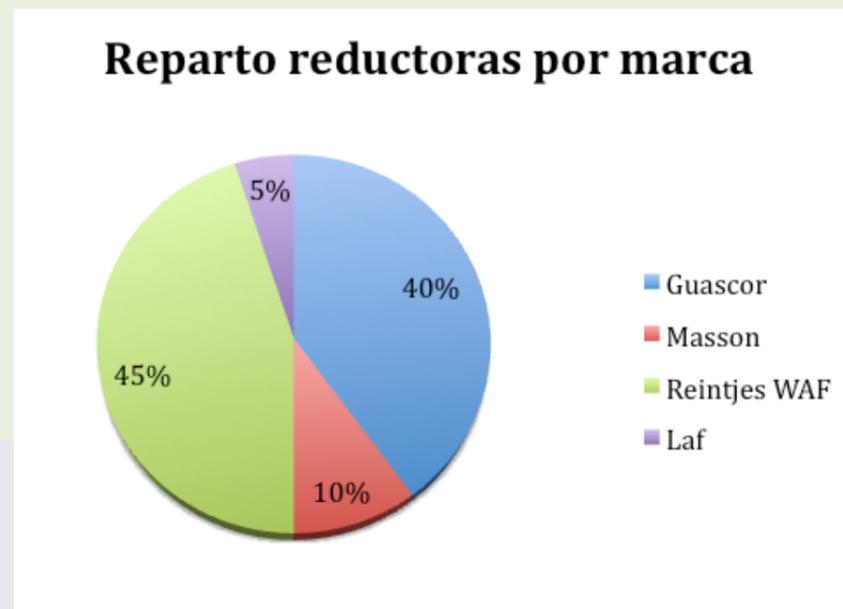


Fig. 71: Reparto reductoras por marca.

Los timones que montan este tipo de buques son timones convencionales, con una geometría definida por una sección tipo perfil NACA simétrico respecto al plano central del timón.

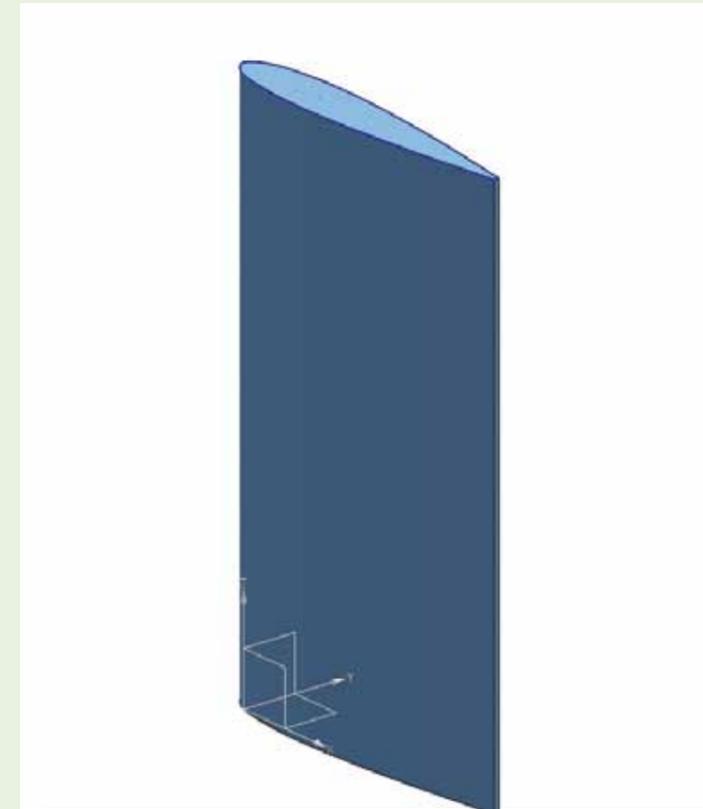


Fig. 72: Perfil NACA simétrico.

• Motores auxiliares

El esquema general de la generación de potencia eléctrica es el mismo para todos los buques. Éstos montan dos motores diesel, en general de la misma potencia nominal, y casi siempre otro adicional, en general de menor potencia, que se utiliza como generador de puerto. A excepción del buque Nº 8, que monta un generador de cola, toda la demanda de potencia eléctrica es cubierta por los generadores auxiliares.

Respecto a los motores auxiliares se han recopilado los siguientes datos en cuanto a las marcas, potencias nominales y rpm:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Potencia nominal (kW)	171	258	66	155	200	292	231/525	260	336	158
rpm	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Potencia nominal (kW)	132	225	142	147	150	240/158	171	226	225	226
rpm	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Tabla 18: Tabla resumen motores auxiliares: potencia nominal y rpm.

Los buques utilizan corriente alterna a 380 V con una frecuencia de 50 hz, y por tanto los generadores giran a 1500 rpm.



Fig. 73: Motor auxiliar.

Por norma general uno de ellos es suficiente para cubrir toda la demanda eléctrica en cualquier situación. Respecto al reparto de carga entre auxiliares, en general, la demanda es suplida únicamente por un grupo, y sólo se utiliza el segundo si con el primero no se puede cubrir toda la misma, excepción que se da sólo en un buque y en algunas condiciones. Hay dos buques, que en ciertas condiciones trabajan, por elección propia, con los dos auxiliares.

Cabría esperar una relación muy marcada entre variación de la potencia entre los motores auxiliares de los diferentes buques y las diferentes potencias demandadas en función de los consumidores de a bordo.

El grupo de consumidores que más peso tiene sobre el total de la potencia instalada es la refrigeración. Teniendo en cuenta la suma total de las potencias demandadas por los compresores de bodega y túneles de congelación, se obtiene la siguiente relación con la potencia de los motores auxiliares:

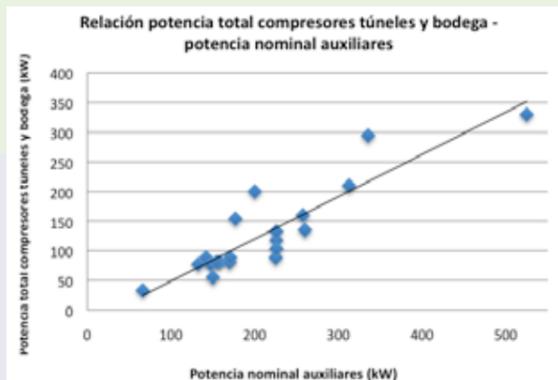


Fig. 74: Relación potencia total compresores túneles y bodega - potencia nominal motores auxiliares.

La gráfica anterior, si bien no muestra una relación demasiado acusada entre potencias demandadas y potencias de los motores auxiliares, tampoco muestra un desvío excesivo. Lo mismo ocurre para los demás consumidores.

Habría que tener en cuenta la potencia demandada por el total de consumidores para poder afirmar que los motores auxiliares instalados están mal o bien dimensionados. En cualquier caso, un incorrecto dimensionamiento de los mismos, derivará en el aumento de consumo y envejecimiento prematuro, mencionados para los motores principales.

Respecto a las casas de motores, en este caso destacan Caterpillar y Volvo, seguidas de Guascor:

Motores auxiliares	
Marca	Nº Buques
Guascor	4
Caterpillar	8
Volvo Penta	6
Deutz	1
Cummins	1

Tabla 19: Nº Buques por marca de los motores auxiliares.

Reparto motores auxiliares por marca

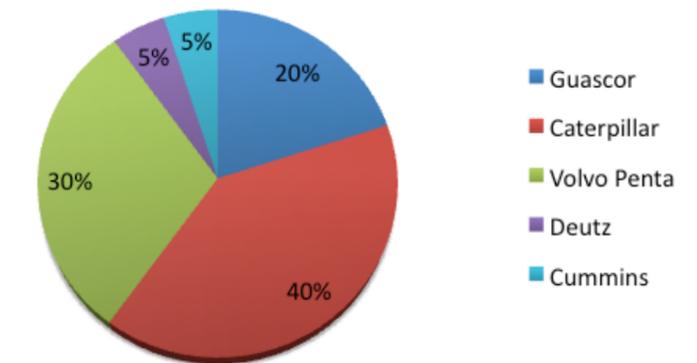


Fig. 75: Reparto motores auxiliares por marca.

Nueve de los buques en estudio, casi el 50 %, montan las mismas marcas de motores auxiliares y principales, esto puede deberse a una preferencia por parte de los armadores por la marca concreta, o a que presenta mayor facilidad, o resulta más económico, a la hora de realizar el mantenimiento de los mismos.

• Compresores túneles de congelación/bodega/gambuza

Este grupo de buques son palangreros congeladores, esto quiere decir que mantienen la pesca en la bodega después de congelarla en los túneles; casi todos ellos cuentan con dos túneles de congelación.

El funcionamiento de los túneles depende de si hay pesca, y de la cantidad de la misma. Si no hay pesca no entran en funcionamiento ninguno de los dos; habiendo pesca entrarán uno o los dos, dependiendo de las necesidades. Sin embargo la bodega funciona continuamente para el mantenimiento de la pesca.

Cada túnel cuenta con un compresor, de igual manera que la bodega. Las potencias nominales de los mismos son relativamente elevadas teniendo en cuenta el resto de consumidores instalados a bordo.

El grupo de consumidores formado por los compresores de túneles y bodega, representa uno

de los grupos que más potencia demanda. Además es el grupo que marca la diferencia entre las potencias eléctricas totales demandadas a la planta generadora según la condición de operación.

La siguiente tabla nos muestra las potencias nominales de los compresores instalados en cada buque:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Nº túneles	2	2	1	2	2	3	3	2	3	2
Pot. comp. túneles (kW)	29,4	60,0	22,0	29,4	75,0	55,0	90,0	45,0	73,6	29,4
Pot. comp. bodega (kW)	29,4	40,0	11,0	22,1	50,0	55,0	60,0	45,0	73,6	22,0
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Nº túneles	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pot. comp. túneles (kW)	29,4	29,4	29,4	29,4	22,0	55,0	29,4	36,8	44,2	44,2
Pot. comp. bodega (kW)	18,4	29,4	29,4	18,4	11,0	44,0	22,1	29,4	44,2	29,4

Tabla 20: Tabla resumen de las potencias nominales de compresores de túneles de congelación y bodega.

Como vemos todos los buques están dotados con dos túneles de congelación, a excepción del Nº 4 con un túnel, y los Nº 7, 8 y 10, con tres túneles. Esta diferencia se debe al diferente porte de los buques en cuestión, siendo el buque Nº 4 el más pequeño de los 20, y los buques Nº 7, 8 y 10, de los más grandes.

En general el compresor de bodega tiene una potencia nominal menor a la de los compresores de túneles, sin embargo a menudo se opta por instalar tres compresores iguales; esto ocurre en el 30 % de los casos.



Fig. 76: Entrada túneles de congelación, buque dos túneles.



Fig. 77: Bodegas para mantener la pesca.

Respecto a las marcas de los compresores instalados destaca la casa Bitzer con un 80 % de los mismos:

Compresores	
Marca	Nº Buques
Grasso	3
Bitzer	16
Maycom	1

Tabla 21: Nº Buques por marca compresores.

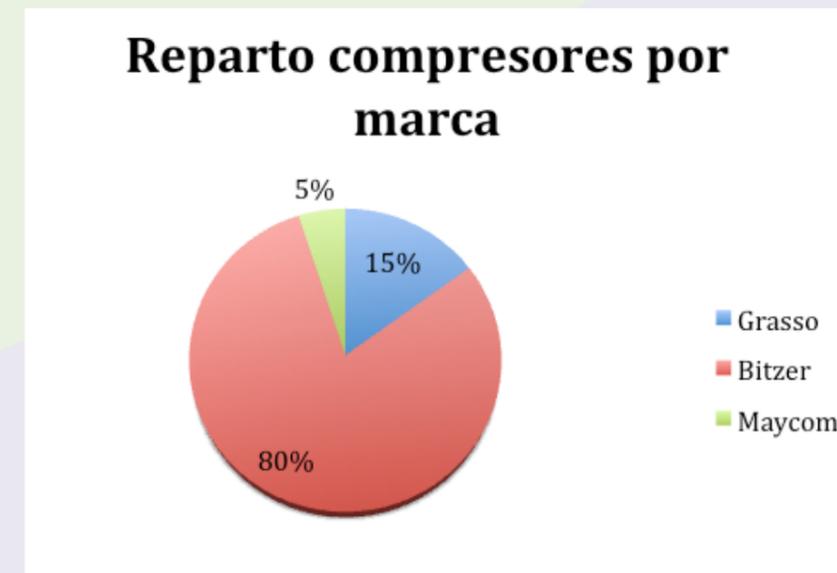


Fig. 78: Reparto de los compresores por marca.

Las potencias nominales de los compresores de la gambusa son mucho menores, moviéndose en un rango de 1-11kW, aproximadamente.

• Ventiladores túneles y sala de máquinas

Cada uno de los túneles de congelación lleva instalados dos ventiladores, para la convección forzada del aire que pasa por el evaporador y por el condensador del circuito de refrigeración, así se mejora la circulación del aire y se acelera el proceso de congelación. Además cada buque cuenta con dos ventiladores para sala de máquinas.

Por ello según el número de túneles, en nuestro estudio uno, dos, o tres, tendremos dos, cuatro o seis ventiladores de túneles, más los dos ventiladores de sala de máquinas.

La siguiente tabla nos muestra las potencias nominales de los mismos.

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Pot. vent. SSMM (kW)	2x1,8	2x2,5	2x1,5	1x6,2+1x3,8	2x3,0	2x2,9	2x4,0	2x3,8	2x3,7	2x1,6
Pot. vent. túneles (kW)	4x3,8	4x2,8	2x1,6	4x6,2	4x3,5	6x2,9	6x4,0	4x6,2	6x3,7	4x2,0
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Pot. vent. SSMM (kW)	2x2,0	2x3,0	2x2,5	2x1,6	2x1,5	2x3,3	2x2,0	2x1,5	2x2,2	2x2,2
Pot. vent. túneles (kW)	4x3,0	4x5,5	4x2,5	4x2,5	4x2,2	4x3,5	4x3,8	4x3,0	4x2,8	4x3,5

Tabla 22: Tabla resumen de las potencias nominales de ventiladores de túneles de congelación y sala de máquinas.

Por norma general la potencia de los ventiladores de sala de máquinas es menor que la de los ventiladores de túneles.

Lógicamente hay más ventiladores o extractores instalados en el buque, como por ejemplo el extractor de la cocina, sin embargo sus potencias son muy reducidas.

• Tambor de palangre y lanzadera

La lanzadera y el tambor, utilizados durante las maniobras de virado y largado del aparejo, son movidos en general, por motores hidráulicos mediante una central hidráulica.

El sistema es básicamente el siguiente, un motor eléctrico mueve una bomba hidráulica que mediante una central alimenta al motor hidráulico del tambor, al de la lanzadera y, en general, también a otros consumidores de cubierta. La central hidráulica puede ser única, o puede haber centrales independientes. Es importante indicar que en algún caso puntual es el principal el que mueve directamente la bomba hidráulica.

Al tratarse de un arte pasivo, los requerimientos energéticos de los equipos de pesca instalados a bordo de los barcos de palangre de superficie no son muy elevados.

Durante el largado, se va soltando el aparejo a medida que lo requiere la resistencia de la parte del mismo que va quedando en el agua al alejarse el buque, de ahí que las potencias nominales de las lanzaderas sean significativamente menores que las de los tambores. Durante la maniobra de virada es también el barco el que va hacia el palangre, y el tambor se limita a recoger y estibar el filamento, sin embargo las potencias requeridas son algo mayores.

En general los buques disponen de dos tambores de palangre americano, aunque durante las operaciones de virada sólo se utiliza uno de ellos. Predominan las marcas Hivisa y Núñez Vigo.



Fig. 79: Tambor de palangre.



Fig. 80: Tambor de palangre.



Fig. 81: Lanzadera.

Antiguamente la flota utilizaba el arte de palangre de superficie tipo 'tradicional', con una media de 2.500 anzuelos por lance. En la actualidad prácticamente la totalidad de la flota ha adoptado el palangre de superficie tipo 'americano', con una media de 1.100 anzuelos por lance y con una mayor separación entre sí, lo que implica una longitud del palangre mucho mayor.

En cuanto a los cebos, tradicionalmente se han utilizado caballa o pota, aunque de forma esporádica se emplean otras especies o subproductos.

Debido a que la fase activa de la pesca se realiza en general por la noche, se suelen emplear junto a los cebos pequeñas luces artificiales, químicas o con pilas, para atraer al pescado.

• Otros consumidores

En todos los casos las cocinas instaladas son cocinas tradicionales, en el 85 % de los casos suman un total de 10kW entre placas y hornos, siendo la inmensa mayoría de ellas de la marca Buraglia.

La iluminación instalada, tanto exterior como interior, se basa en focos, bombillas y fluorescentes, pocas veces de bajo consumo, y en ningún caso se utiliza iluminación LED.

Los fluorescentes son en general tubos de 18 W. Respecto a las bombillas y focos hay una amplia gama de potencias. Lo mismo ocurre respecto a las marcas de los mismos.

Los equipos de aire acondicionado instalados a bordo tienen, en general, unas potencias de entre 3 y 15 kW dependiendo del buque.

Las diferentes bombas instaladas a bordo, bombas de baldeo, sentinas, achique, condensación, servo, etc., tienen potencias que rara vez superan los 10 kW.

Algunos buques, los de mayor porte, tienen una o dos grúas en cubierta, con potencias de entre 15 y 30 kW.

5.1.3. Perfil operativo

• Registrador de velocidades

Se instala a bordo de varios buques el programa RV, se trata de un software, que en conjunto con el GPS, nos permite registrar las velocidades del buque cada cierto intervalo de tiempo durante toda la duración de la campaña en que se mantiene activo dicho programa.

Estos datos son de especial importancia pues nos permiten obtener mucha información acerca del perfil operativo del buque. Un estudio de los datos obtenidos nos permite identificar qué intervalos de tiempo dedica el buque a cada condición de operación, así como las velocidades a las que opera. Por otro lado nos permite identificar los modos de operación del buque, y la mayor o menor frecuencia de cada uno de ellos.

El conocimiento de dichas velocidades y tiempos nos servirá posteriormente para calcular los consumos en propulsión y generación para cada condición de operación del buque.

Estos datos también son necesarios para el cálculo de las mejoras obtenidas mediante las propuestas aplicadas a la hidrodinámica y la propulsión del buque, pues estas se optimizan para la velocidad de ruta, condición de mayor duración y en la que son más efectivas (también son notables en la condición de largado, con velocidades y formas de operar, en cuanto a la propulsión, similares a las de ruta).

Finalmente el conocimiento de dichos perfiles operativos nos permite extrapolar los datos obtenidos y así poder aplicarlos al estudio de otros buques.

• Registro RV campaña

Las siguientes gráficas nos muestran los registros de velocidades para dos buques diferentes, la primera de ellas contiene información de la ruta puerto-caladero y varios días de faena del buque, y la segunda gráfica nos muestra varios días de faena y la ruta de vuelta caladero-puerto.

Podemos diferenciar claramente los periodos de tiempo correspondientes a ruta, además de por ser el primer y último tramo de ambas gráficas, respectivamente, por ser un periodo de tiempo en el que el buque opera a una velocidad más o menos constante.

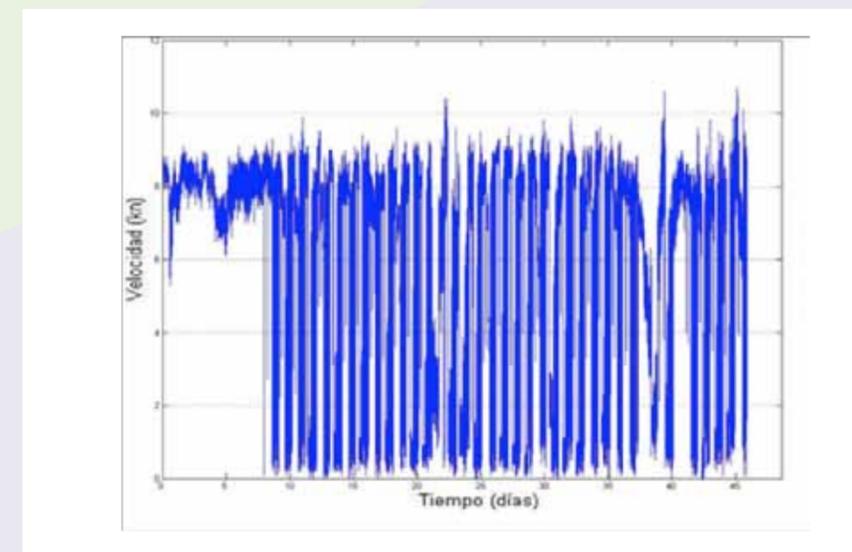


Fig. 82: Registro RV marea, caso 1.

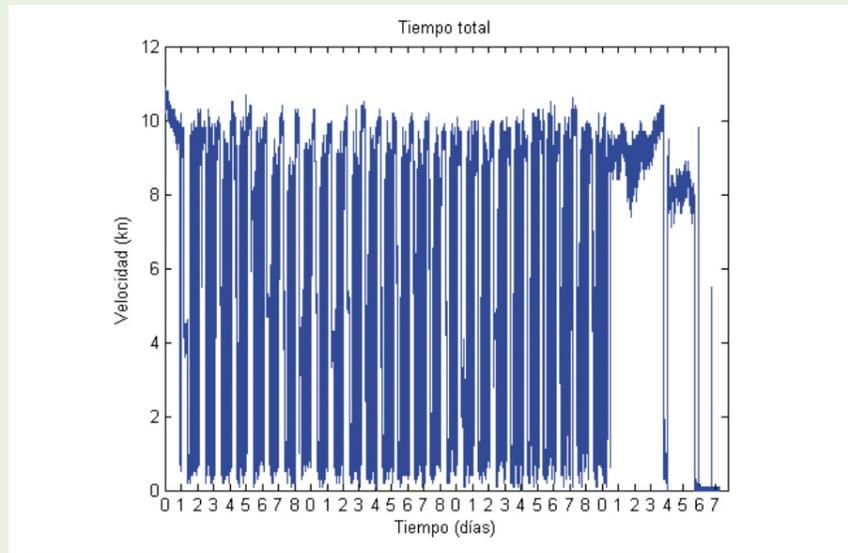


Fig. 83: Registro RV marea, caso 2.

• Buque en ruta

Analizando los datos únicamente durante la ruta puerto-caladero o viceversa, se obtienen perfiles como el siguiente, largos periodos de tiempo en los que se mantienen velocidades más o menos constantes dentro de un rango.

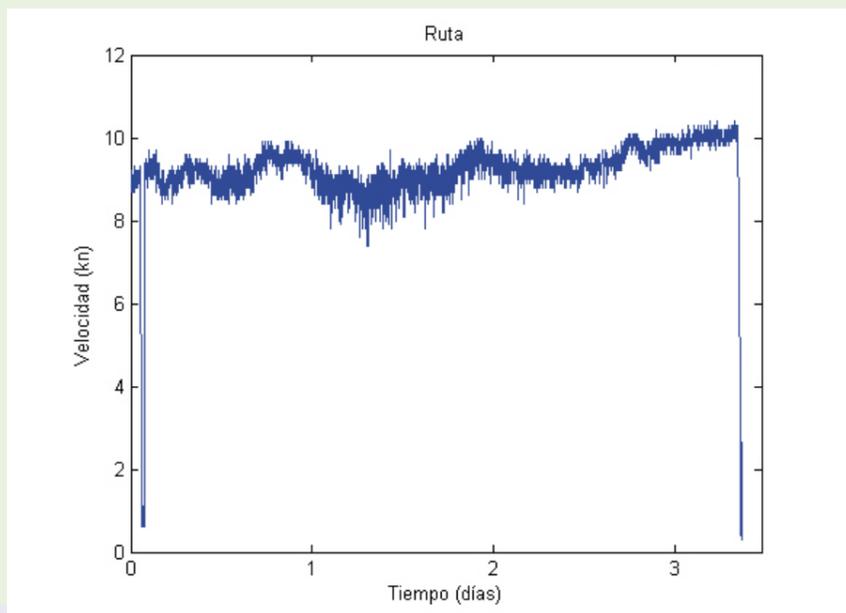


Fig. 84 Registro RV condición de ruta

También podemos obtener una distribución de velocidades dentro del intervalo de tiempo, y una velocidad media.

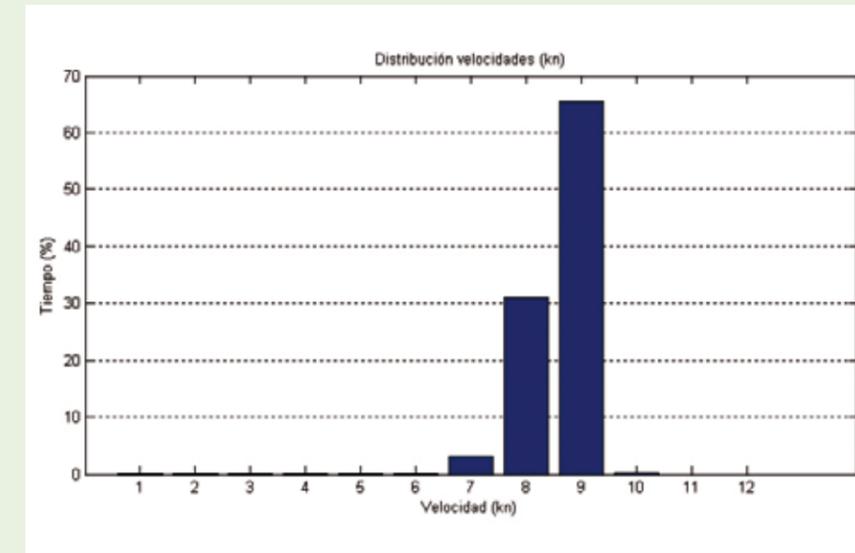


Fig. 85: Distribución velocidades condición de ruta.

• Buque faenando

Analizando los registros de los buques durante la faena se observa que predominan dos maneras de faenar, una a la que llamaremos Modo 1, en la que el buque chicotea, y otra a la que llamaremos Modo 2, en la que el buque espera parado.

– Modo 1: Chicoteo

Un perfil representativo para este modo de faena es el siguiente:

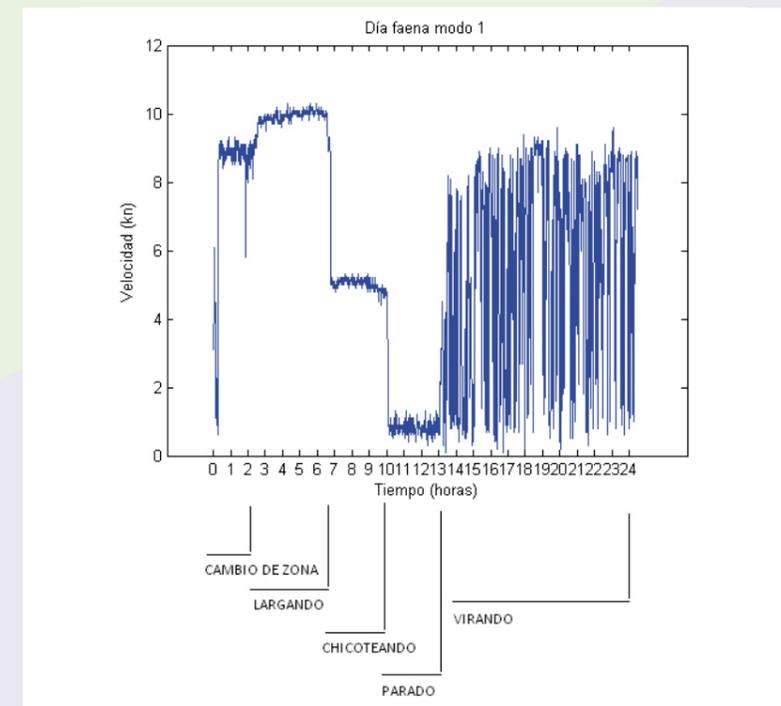


Fig. 86: Día de faena en Modo 1.

Podemos diferenciar claramente una primera parte en la que el buque cambia de zona, seguida de un intervalo de tiempo de largado, a velocidades próximas. Tras ello se chicotea a una velocidad marcadamente inferior, presumiblemente por que se largaron los aparejos en forma de U. Finalmente se espera y se recoge el aparejo.

- Modo 2: Espera

Un perfil representativo para este modo de faena es el siguiente:

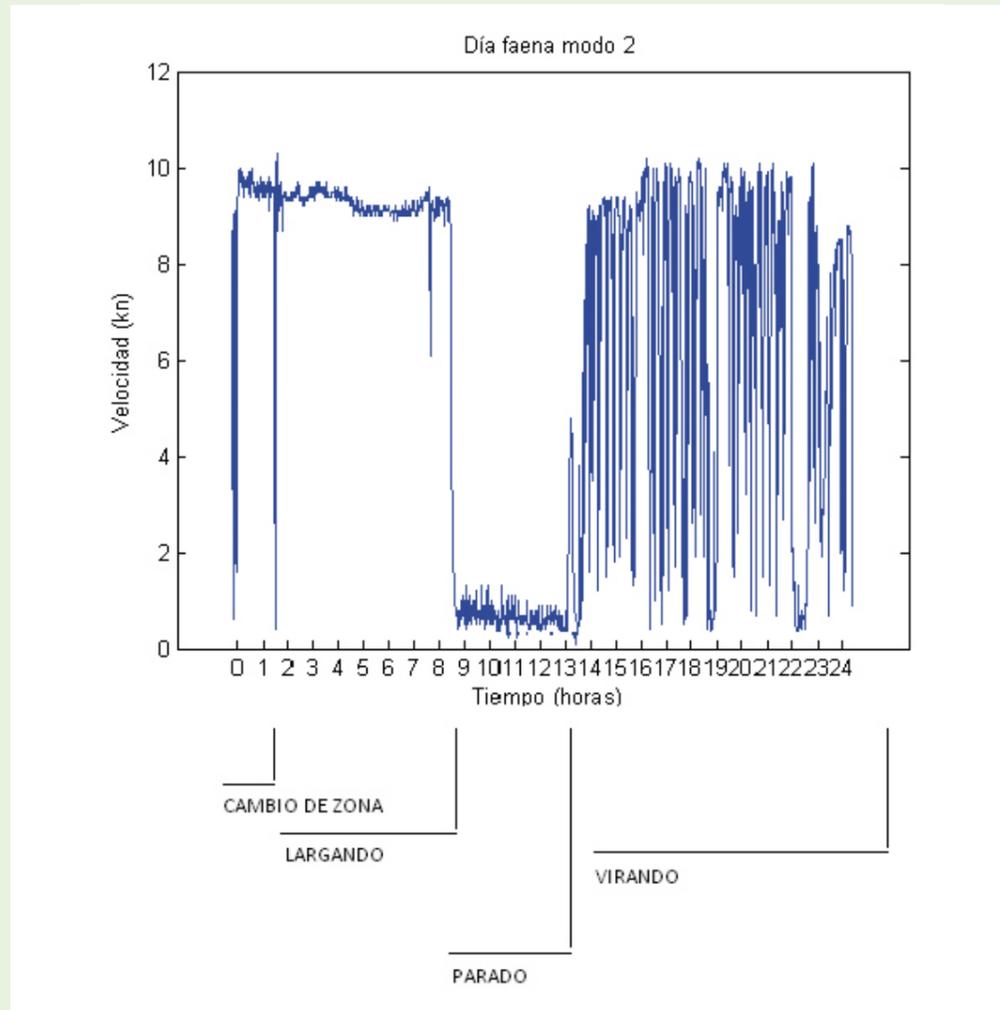


Fig. 87: Día de faena en Modo 2.

De nuevo diferenciamos claramente una primera parte en la que el buque cambia de zona, seguida de un intervalo de tiempo de largado, y tras ello un periodo de tiempo en que el buque espera para finalmente recoger el aparejo.

• Perfiles operativos tipo

De los datos registrados en todos los buques en que se instaló el RV, se obtiene, para el Modo 1, el siguiente perfil operativo tipo a lo largo de un día de faena:

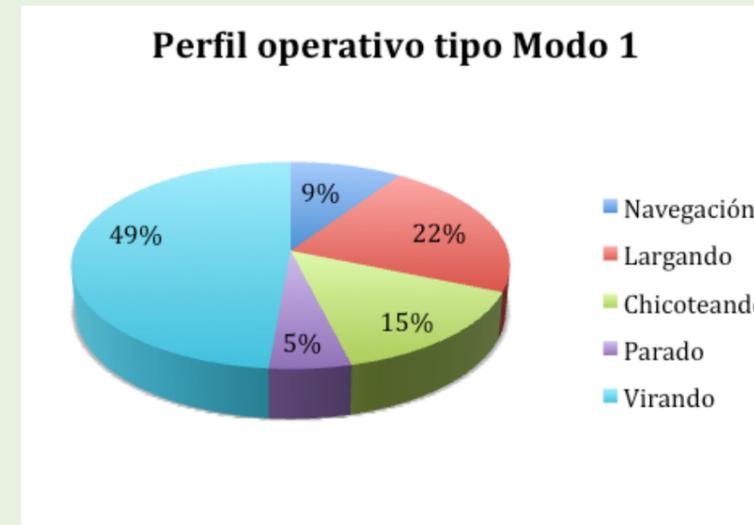


Fig. 88: Perfil operativo tipo en Modo 1.

Y para el Modo 2:

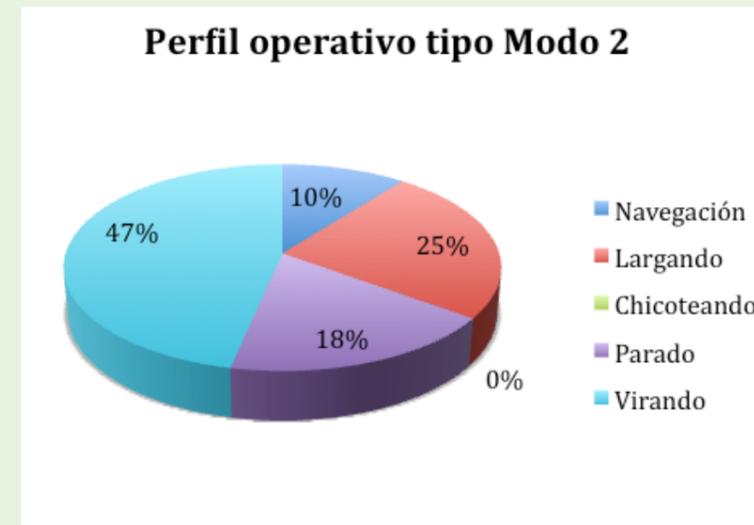


Fig. 89: Perfil operativo tipo en Modo 2.

Es importante notar que la frecuencia de ambos modos de operar, dentro del tiempo total de operación, varía notablemente de unos buques a otros, dependiendo de muchos factores como pueden ser el estado de la mar, la mayor o menor disponibilidad de pesca, e incluso las propias preferencias del patrón.

Por otro lado, también hay que indicar que aunque estos modos de operación se han identificados como los más predominantes, también puede haber circunstancias que lleven a faenar de otra manera, por ejemplo si se encuentra una zona con una pesca muy abundante no será necesario realizar cambios de zona entre una operación de largado y la siguiente. Otro caso que a menudo se da es que una vez comenzadas las maniobras de virada, si la pesca es buena se vuelve a largar lo virado y se chicotea hasta el inicio para finalmente virar, sin embargo si la pesca no es buena se vira completamente para proceder a un cambio de zona.

• **Hojas de mareas**

En los buques en los que no se instaló el RV, los datos referentes al perfil de operaciones del buque, se obtuvieron mediante unas fichas, "Hojas de mareas", rellenas bien por el armador, bien por el capitán. En ellas quedan registradas velocidades, tiempos, potencias, consumos, etc.

Fig. 90: Hoja de mareas.

Gracias a ello también podemos obtener un perfil operativo de tiempos y velocidades de los buques que rellenan este documento.

• **Perfil operativo tipo**

Finalmente, y teniendo en cuenta todos los datos provenientes del RV, hojas de mareas, e incluso de descripciones realizadas a bordo durante visitas a los buques, se obtiene un perfil operativo tipo para el conjunto de palangreros en estudio:

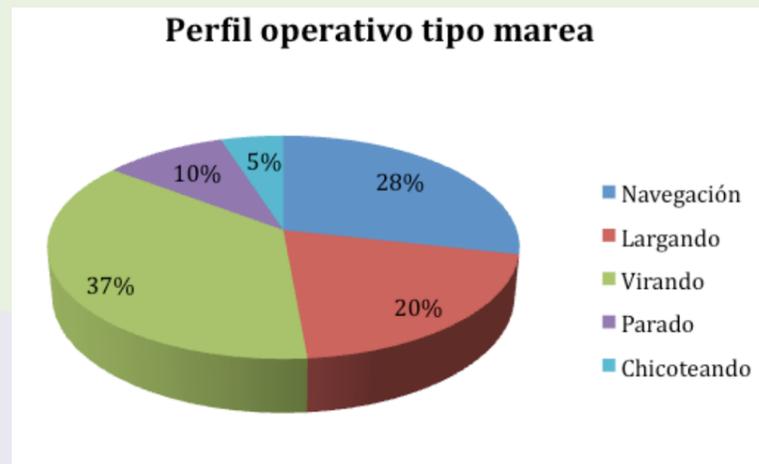


Fig. 91: Perfil operativo tipo.

Es importante notar que esta última gráfica representa el perfil de tiempos tipo de una marea completa, no así las gráficas referentes a los Modos 1 y 2, que representaban un perfil diario, por eso en esta última gráfica adquiere un mayor peso la condición de navegación.

Este será el perfil que se utilice como perfil tipo estimado en los casos en que no se disponga de datos que permitan conocer el perfil de operaciones del buque.

NOTA: Es importante indicar que los periodos de tiempo correspondientes a cambios de zona y ruta, quedan ambos reflejados dentro de la condición de operación de navegación. Aunque desde el punto de vista de la propulsión son condiciones muy similares, respecto a la generación existen ciertas diferencias que se estudiarán en posteriores apartados.

• **Perfil de velocidades**

De las velocidades registradas mediante los métodos descritos, se obtiene la siguiente tabla que recoge las velocidades de los buques durante la navegación, el chicoteo y las maniobras de largado:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Navegando (kn)	8,50	8,50	8,00	8,25	9,00	8,50	10,10	9,25	9,00	8,25
Largando (kn)	7,50	8,50	8,00	7,20	9,00	8,50	10,00	9,50	9,20	8,00
Chicoteando (kn)	7,00	7,00	5,00	6,80	6,50	6,50	9,90	5,00	No chicotea	7,00
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Navegando (kn)	8,25	8,00	8,50	8,50	8,00	9,00	8,25	8,20	8,50	8,50
Largando (kn)	7,20	7,50	7,50	8,00	7,50	8,50	8,00	7,20	7,50	7,50
Chicoteando (kn)	6,80	6,50	6,50	7,00	5,50	6,50	6,00	6,80	6,50	6,50

Tabla 23: Velocidades de operación: navegando, largando, chicoteando.

Como se puede observar, la maniobra de largado se realiza a una velocidad muy próxima a la de navegación, en ocasiones incluso la misma. El chicoteo se realiza a velocidad, en general, notablemente inferior a la de navegación, con diferencias de hasta casi cuatro nudos. Esto se debe, en general, a razones referentes a la pesca, bien porque se quiere dar más tiempo a que el aparejo permanezca en el agua, bien porque se largó en forma de U.

La anterior tabla no refleja las velocidades durante la condición de virada, pues esta maniobra no se realiza a una velocidad dada, sino que durante la misma el buque avanza y para constantemente mientras va recogiendo el aparejo con la pesca.

Se obtienen los números de Froude correspondientes a la velocidad de navegación. La siguiente gráfica nos muestra la relación entre los números de Froude obtenidos y la eslora de los buques:

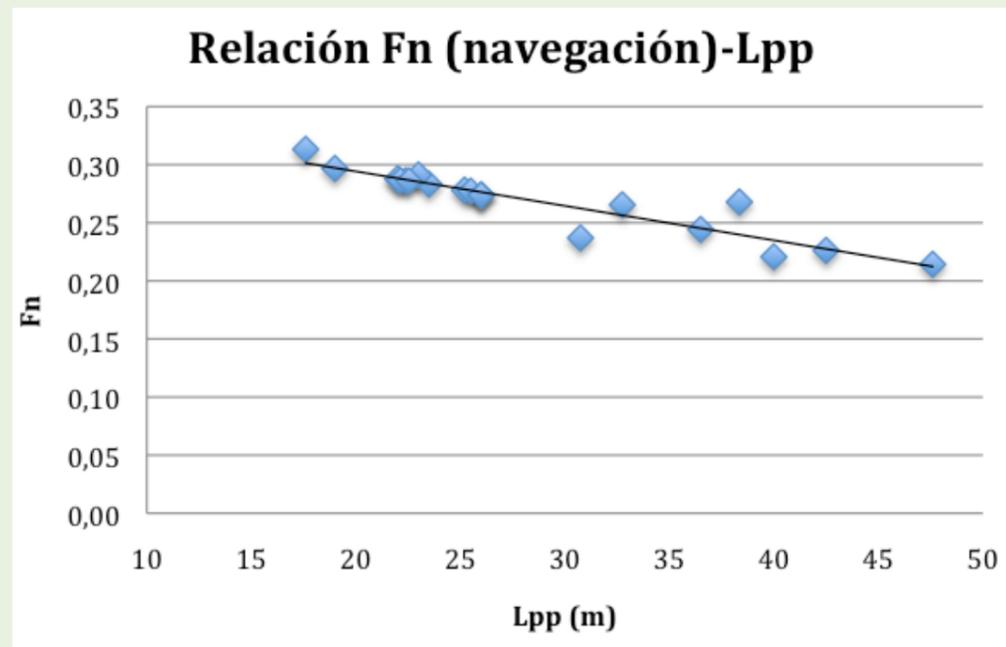


Fig. 92: Relación número de Froude - Lpp (m).

NOTA: Para los buques en los que no se disponía de información acerca de las velocidades de operación, éstas se extrapolaron mediante los datos disponibles de otros buques.

• **Formas de faenar**

El perfil operativo de los buques estudiados puede representarse mediante las siguientes condiciones de operación: Navegación, largando, virando, chicoteando y en espera (parado).

– **Navegación**

El tiempo dedicado a la condición de navegación en estos buques tiene un peso importante sobre el total de la campaña ya que las rutas hacia los lugares de pesca suelen ser largas.

Esta condición comprende, por un lado la navegación de puerto a caladero y la vuelta de caladero a puerto, y por otro lado, los periodos durante los días de faena del buque, en que se realizan cambios de zona en busca de bancos de peces o zonas más pobladas, o en los que se vuelve a la zona en la que se inició la virada debido a una buena pesca.

Se trata de condiciones diferentes en cuanto a las necesidades de potencia en generación, la diferencia básica estriba en que durante la ruta puerto-caladero se puede decir que el buque funciona con los consumidores esenciales, sin embargo en la ruta caladero-puerto se mantiene en funcionamiento la bodega para conservar la pesca.

Por otro lado, los cambios de zona suelen realizarse tras la operación de virada del buque, y por lo tanto, durante los mismos se encuentran en funcionamiento los túneles de congelación para congelar la pesca obtenida.

La velocidad durante dicha condición suele mantenerse bastante constante, pudiendo variar dentro de un rango de un nudo, nudo y medio. Por lo tanto la potencia necesaria para la propulsión del buque se mantiene más o menos constante.

La operación de cambio de zona del buque suele durar entre 2 y 3 horas diarias, mientras que las rutas puerto-caladero y caladero-puerto tienen una duración muy variable, representando entre un 10 y un 30 % del total del tiempo de la marea.

– **Largando**

Las operaciones de largado del aparejo se realizan por la popa de los buques. Tras las operaciones de recogida del aparejo, éste es trasladado a popa, generalmente guiándolo mediante unas pastecas bien por un costado del buque, bien por encima del puente. El aparejo se larga mediante la lanzadera.

Durante esta operación el buque suele llevar una velocidad similar a la velocidad de navegación, por lo tanto los requerimientos de potencia para la propulsión son muy similares.

Respecto a la potencia demandada en generación, ésta es similar a la potencia demandada durante los cambios de zona, a la que habría que sumar el uso de la lanzadera. Sin embargo la potencia demandada por la misma es muy pequeña, pues el propio movimiento de avance del buque, junto con el peso del aparejo ya largado, hace que el mismo continúe cayendo prácticamente sin ayuda.

La operación de largado suele durar entre 5 y 6 horas diarias. Las maniobras de largado pueden variar mucho en función de las costumbres del patrón, de la previsión de pesca, de la densidad de buques en la zona, etc. Pero podemos decir que principalmente se larga siguiendo una trayectoria en línea recta o en U, y que de ello dependerá mucho el resto de la maniobra.

– **Parado/En espera**

Antes de proceder a la recogida del aparejo el buque suele estar parado, manteniendo la posición, entre 2 y 5 horas, dando así tiempo para que se produzca la pesca.

Durante este tiempo las necesidades de propulsión del buque son muy pequeñas reduciéndose a la necesidad de mantener la posición del buque.

Respecto a la generación, las necesidades de potencia son variables, desde simplemente mantener los consumos esenciales, hasta la necesidad de mantener en funcionamiento los túneles de congelación si aún no se ha congelado toda la pesca recogida en la última operación de virado.

– **Virando**

Las operaciones de virada se realizan por la proa del buque, el aparejo se recoge, en general, por una apertura lateral en la cubierta.

La duración y velocidad de las operaciones de virada dependen principalmente de la cantidad de pesca. Si hay poca pesca, la virada se puede realizar a mayores velocidades, y de una forma casi continua. Sin embargo, si la pesca es abundante, el buque estará parado y volviendo a avanzar constantemente.

Las necesidades de propulsión del buque son menores, pues esta operación no suele realizarse a velocidades elevadas, aunque debido a las constantes paradas y avances, el consumo es mayor de lo que cabría esperar si únicamente nos fijásemos en las velocidades a las que se desarrolla la maniobra.

Respecto a la generación, los requerimientos de potencia tampoco son muy altos, pues si bien es cierto que durante estas operaciones es necesario mantener en funcionamiento el tambor de

palangre, el cual demanda una potencia significativa para la recogida del aparejo, también es cierto que los túneles de congelación no se encuentran en funcionamiento, y son estos los que realmente marcan la diferencia entre las potencias demandadas entre unas y otra condiciones de operación.

Sin embargo, y a pesar de que las potencias demandadas tanto en propulsión como en generación no son muy elevadas, el consumo que se produce durante esta operación tiene un peso muy importante sobre el total de consumos debido a que estas maniobras suelen durar entre 10 y 12 horas diarias, representando un total de entre el 30 y el 40 % del tiempo durante la campaña.

- Chicoteando

A veces cuando se ha largado el aparejo el buque en vez de esperar regresa al lugar donde comenzó la largada y recoge el aparejo desde ese punto, de esta manera se proporciona más tiempo en el agua al extremo final del aparejo.

El chicoteo suele hacerse a velocidades notablemente inferiores a las del largado, dos o tres nudos por debajo. Esto se debe a que a menudo las operaciones de largada se realizan en U. Esta operación suele durar entre dos y cinco horas.

Cuando se chicotea los tiempos de espera del buque se reducen de una manera importante hasta dedicarles entre una y dos horas.

• Mareas

Los datos recogidos respecto al número de mareas y a la duración de las mismas quedan reflejados en la siguiente tabla:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Duración marea (días)	65	103	23	80	111	165	100	120	135	90
Nº mareas	5	4	10	4	3	2	3	3	2	3
Días operación	325	412	225	320	333	330	300	360	270	270
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Duración marea (días)	106	120	105	105	55	120	65	80	95	85
Nº mareas	3	3	3	3	6	3	6	4	4	4
Días operación	318	360	315	313	330	360	390	320	333	340

Tabla 24: Tabla resumen de número y duración de las mareas.

Como podemos observar, a excepción del buque Nº 4, con un porte sensiblemente inferior a los demás, las mareas son de una larga duración encontrándose entre 55 y 165 días.

La mayoría de los buques realizan tres o cuatro mareas anuales, representando el 70 % del total:



Fig. 93: Distribución buques por Nº de mareas realizadas.

Al margen de la variación en la duración de las mareas se observa que los días de operación totales, salvo ciertas excepciones, se encuentran entre 300 y 360 días.

• Gasto diario combustible

La siguiente tabla muestra los datos referentes al consumo anual y diario de combustible para cada buque:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
Litros combustible anual	415000	569886	189051	384000	975039	1100000	1008215	750000	715700	332739
Litros/diarios	1277	1383	840	1200	2928	3333	3361	2083	2651	1232
Nº Buque	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Litros combustible anual	415241	600000	448739	435314	374000	774101	574199	389566	600000	490043
Litros/diarios	1304	1667	1424	1390	1133	2150	1472	1217	1805	1441

Tabla 25: Tabla resumen de consumo anual y diario de combustible.

Se encuentra una relación lineal muy acusada entre la capacidad de combustible de los buques y el consumo diario:

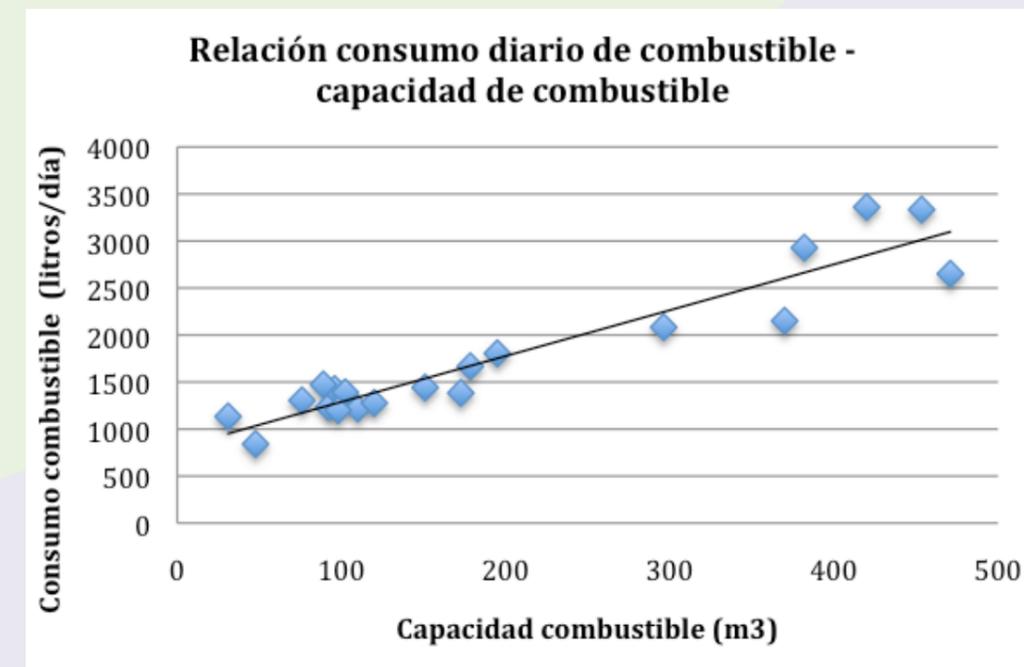


Fig. 94: Relación consumo diario (litros/día) - capacidad de combustible (m3).

Relaciones menos acusadas, pero también importantes, se encuentran entre el consumo diario de combustible y las dimensiones principales, desplazamiento y arqueo de los buques.

5.2. MEDICIONES REALIZADAS A BORDO

Se realizan mediciones de potencia y consumos en el motor principal, así como mediciones de la composición de los gases de escape del mismo. Para ello, un equipo de personal especializado se desplaza a bordo del buque. Se realizan mediciones en seis de los buques, aunque no en todos ellos se realizan los tres tipos mencionados.

Gracias a las mediciones de potencia y consumos se obtienen las curvas potencia – velocidad y potencia – consumos del motor principal, lo que permite estudiar el consumo y eficiencia energética de la planta propulsora. Las mediciones de los gases de escape nos permiten comprobar si se cumplen las normativas IMO referentes a los mismos.

• Equipo utilizado

A continuación se describen los equipos de medida instalados a bordo para las mediciones realizadas, éstos son el equipo analizador de gases de combustión para la medición de las concentraciones de NOx, CO, CO2 y O2, además de temperatura y presión, el equipo instalado en el eje de cola a fin de obtener el par y la potencia dados por el motor y los caudalímetros ultrasónicos usados para la medida del consumo instantáneo del motor propulsor.

– Torsiómetro

Para llevar a cabo una medición completa se requiere medir la potencia al freno desarrollada por el motor. Para ello se dispone de un torsiómetro en el eje de cola, que mide el par mediante una galga extensiométrica adherida al eje para tal efecto:

Marca y modelo:	Binsfeld Engineering Torque Trak TT9000
Resolución:	14 bits (\pm full scale = 16.384 puntos)
Error de ganancia:	$\pm 0,1\%$
Respuesta en frecuencia:	0 – 250 Hz (-3 dB máx. @ 250 Hz)
Frecuencia de muestreo:	1.276 puntos/segundo
Transmisor BT9000	
Sensor:	Galga extensiométrica de puente completo (350 Ω)
Marca y modelo galga:	Vishay Micro Measurements CEA-06-250US-350
Temperatura de operación galga:	-75 °C a +175 °C
Frecuencia de transmisión:	903-922 MHz
Temperatura de operación transmisor:	0 -70 °C
Fuerza centrífuga admisible:	3.000 G
Receptor RD 9000	
Señal de salida:	± 10 V CC
Temperatura de operación receptor:	0 -70 °C

– Caudalímetros

En las mediciones de caudal efectuadas en el motor principal se emplearon caudalímetros ultrasónicos que evitan la necesidad de realizar obras en las tuberías de alimentación y retorno de combustible.



Equipo: FLUXUS F601

Tipo: Caudalímetro ultrasónico

Transductores tipo clamp-on para medición no invasiva.

Fig. 95: Caudalímetro ultrasónico FLUXUS F601.

El funcionamiento de este tipo de caudalímetros se basa en la emisión de una señal de ultrasonidos por parte de uno de los transductores, alternativamente uno y el otro, de forma que existen señales en la dirección del flujo y en la opuesta, que al propagarse por un fluido en movimiento, tienen velocidades diferentes. Esta diferencia es medida para calcular la velocidad del flujo y con ello el caudal.

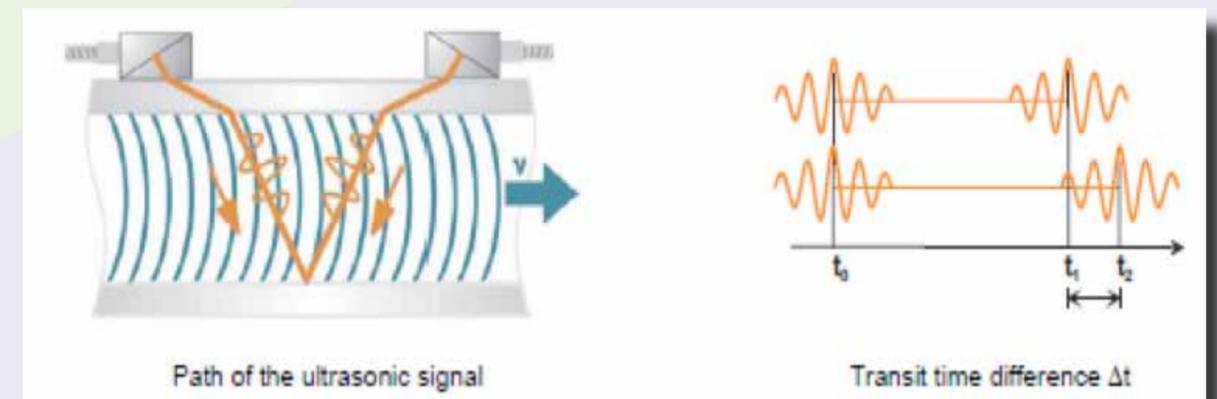


Fig. 96: Esquema de funcionamiento de un caudalímetro ultrasónico.

– Unidad de adquisición de datos / Analizador de redes

Se cuenta con una unidad de adquisición de datos / analizador de redes en la que se pueden registrar de manera simultánea mediciones de tensión y corriente en el cuadro eléctrico.

Marca y modelo:	Sefram Instruments, DAS 1400
Tipo de medidas:	Voltaje, corriente, frecuencia y termopar
Voltaje mínimo rango:	0,5 mV
Precisión:	±0.1 % full scale
Resolución:	14 bits

– Analizador de gases

El equipo de medida utilizado es el TESTO 350 MARINE, certificado por la Sociedad de Clasificación Germanischer Lloyd, para medidas en motores diesel de buques.



Fig. 97: Equipo de medición de gases de combustión.

El equipo completo consiste en una unidad de control, un analizador de los productos de combustión (caja analizadora) y una sonda de muestreo. Todo el equipo se encuentra alojado en una caja portátil de protección.

La muestra de gas se obtiene mediante una única sonda con filtro preliminar, válida para O₂, CO y NO_x (NO + NO₂ por separado). Además la sonda tiene integrado un termopar para la medición de la temperatura del gas y una conexión para la medida de la presión diferencial.

• Descripción de la metodología de medida

La metodología de las pruebas sigue las indicaciones del Código NO_x en cuanto a los análisis de gases de escape, así como las buenas prácticas y las recomendaciones de la ITTC, para la realización de medidas a bordo.

– Medición de potencia-velocidad con torsiómetro

Para la medición de la potencia se instala la galga extensométrica en el eje de cola, así como un tacómetro con sensor inductivo, permitiendo la monitorización en tiempo real del par torsor al que está sometido el eje de cola, y obteniendo, a través de la unidad de adquisición de datos, un valor real de la potencia instantánea con las rpm registradas. Al mismo tiempo se anota la velocidad del buque obtenida de la indicación del sistema GPS del mismo. Estas mediciones permiten obtener la curva potencia-velocidad.



Fig. 98: Instalación y cableado de la galga extensiométrica.



Fig. 99: Equipo de recepción de datos .

- Medición de la composición de los gases de escape

Para la instalación del equipo de medición de los gases de combustión, se aprovecha la válvula de purga del conducto de exhaustación, de manera que la sonda se introduce a través de la misma y queda fija en su posición gracias a una rosca, evitando además el escape de gases.

La sonda de muestreo se coloca a una distancia mínima de la salida del sistema de gases de escape, de acuerdo con las recomendaciones descritas en el Código NOx.



Fig. 100: Mediciones de gases de combustión.

- Medición del caudal de combustible

Los sensores del caudalímetro portátil de ultrasonidos se colocan sobre los conductos de alimentación y retorno, de forma que el equipo mide de forma simultánea ambos caudales, siendo la diferencia el consumo del motor.

Se tiene en cuenta la temperatura del combustible para realizar una corrección de la densidad si fuese necesario. Las señales se registran en un sistema de adquisición de datos, en tiempo real y de forma sincronizada con la señal de velocidad y potencia.



Fig. 101: Caudalímetro instalado en la línea de combustible de un motor principal.

• Resultados de las mediciones

- Curva potencia - velocidad del motor principal

Las mediciones de potencia y consumos se realizan siguiendo una trayectoria lo más fija posible. Se realiza la misma trayectoria en ambos sentidos, ida y vuelta, para contrarrestar posibles efectos de mareas, corrientes o vientos. Las mediciones se realizan para distintas rpm, y se obtiene, para cada buque, una tabla de datos como la siguiente:

	RPM motor	kn Velocidad	V Tensión	Nm Par	rpm N	Línea		Motor principal		%Pot. total
						kW PD	bkW P	CV P		
IDA	1000	7,9	0,7	4306	250	113	117	160	17,7%	
	1120	8,6	0,9	5536	280	162	169	230	25,5%	
	1150	8,7	1,1	6766	288	204	212	288	32,0%	
	1200	8,9	1,2	7381	300	232	242	328	36,5%	
	1250	9,3	1,3	7996	313	262	273	370	41,2%	
VUELTA	1300	10,0	1,5	8919	325	304	316	430	47,7%	
	1300	9,1	1,4	8611	325	293	305	415	46,1%	
	1250	8,8	1,2	7381	313	242	252	342	38,0%	
	1200	8,7	1,1	6766	300	213	221	301	33,4%	
	1150	8,6	1,0	6151	288	185	193	262	29,1%	
	1120	8,4	0,9	5536	280	162	169	230	25,5%	
	1000	7,8	0,7	4306	250	113	117	160	17,7%	

Tabla 26: Tabla ejemplo resumen de datos medición potencia, rpm, velocidad.

Para la obtención de la potencia desarrollada por el motor principal, potencia de propulsión, a partir de la potencia obtenida en el eje de cola (línea), se ha tenido en cuenta un rendimiento de la reductora del 96 %.

Al realizar la media entre las medidas del trayecto de ida y el de vuelta, se obtienen los datos definitivos y la curva potencia-velocidad del motor principal.

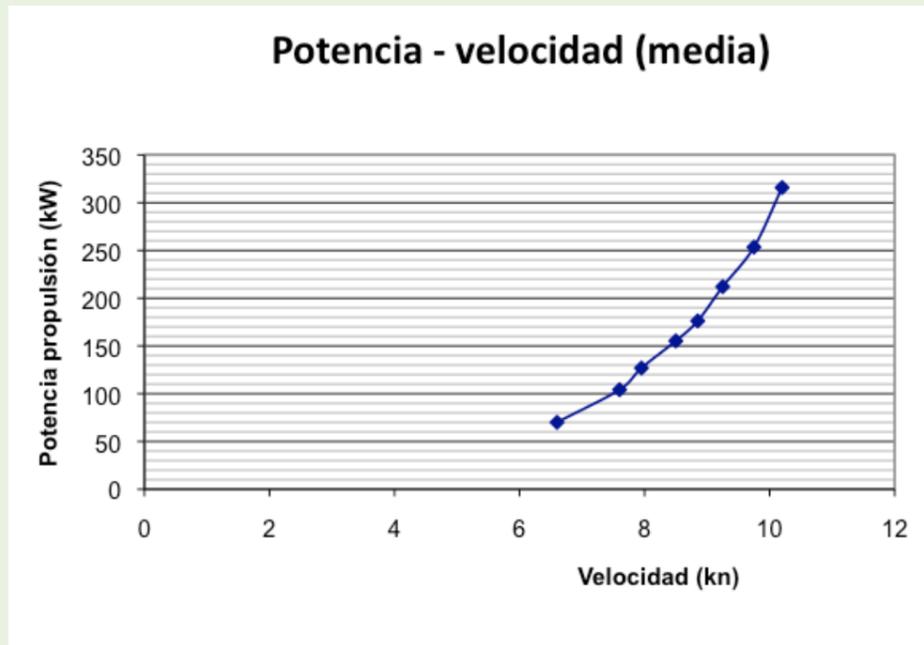


Fig. 102: Curva ejemplo potencia (kW) – velocidad (kn) de un motor principal.

– Curva consumo y consumo específico del motor principal

De los datos obtenidos de las mediciones de consumos se obtienen las curvas de consumo y consumo específico:

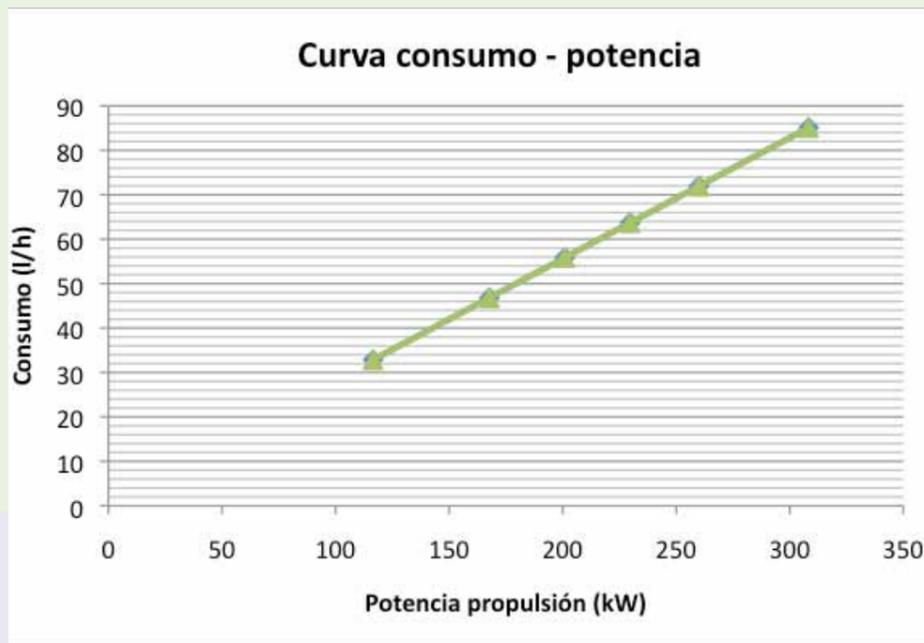


Fig. 103: Curva ejemplo consumo (l/h) – potencia (kW) de un motor principal.

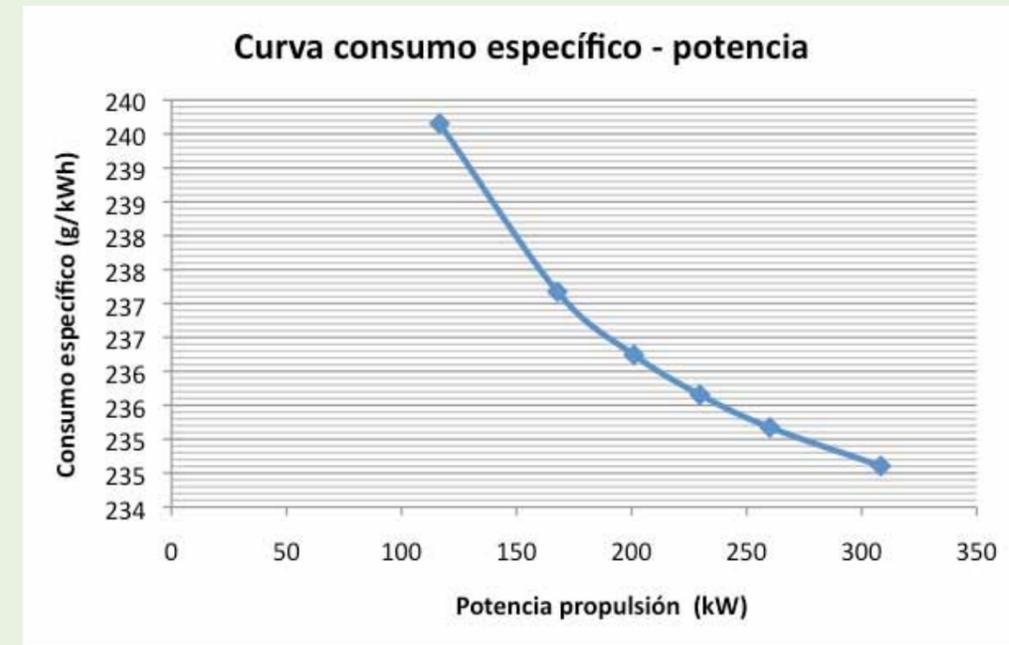


Fig. 104: Curva ejemplo consumo específico (g/kWh) – potencia (kW) de un motor principal.

Los consumos medidos son alineados con los datos correspondientes a la curva de banco de pruebas del motor, para corroborar que las mediciones realizadas son correctas.

– Composición de los gases de escape

Gracias a las mediciones realizadas se obtiene, para cada buque, una tabla de datos como la siguiente, que refleja la composición de los gases de escape para las diferentes velocidades del motor.

	RPM Motor							
	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	800
NOx (ppm)	203,3	140,5	110,3	93,7	81,7	69,1	64,5	51,4
CO2 (%)	3,3	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0
CO (ppm)	9,7	4,4	2,8	1,9	1,2	0,7	0,6	1,0
Presión (hPa)	1004,8	1004,9	1005,0	1004,9	1005,0	1005,1	1005,1	1005,1
Temperatura (°C)	359,9	342,8	327,8	314,1	298,5	276,6	261,6	232,0

NOx (gr/kWh)	5,3	4,5	4,3	4,4	4,3	4,5	5,1	6,0
TIER I	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
TIER II	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
TIER III	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

Tabla 27: Tabla ejemplo resumen valores medios de emisiones registrados en un motor principal.

Se obtiene, para cada buque, la siguiente gráfica que nos muestra la comparación de la concentración medida de NOx con los máximos establecidos por la normativa IMO:

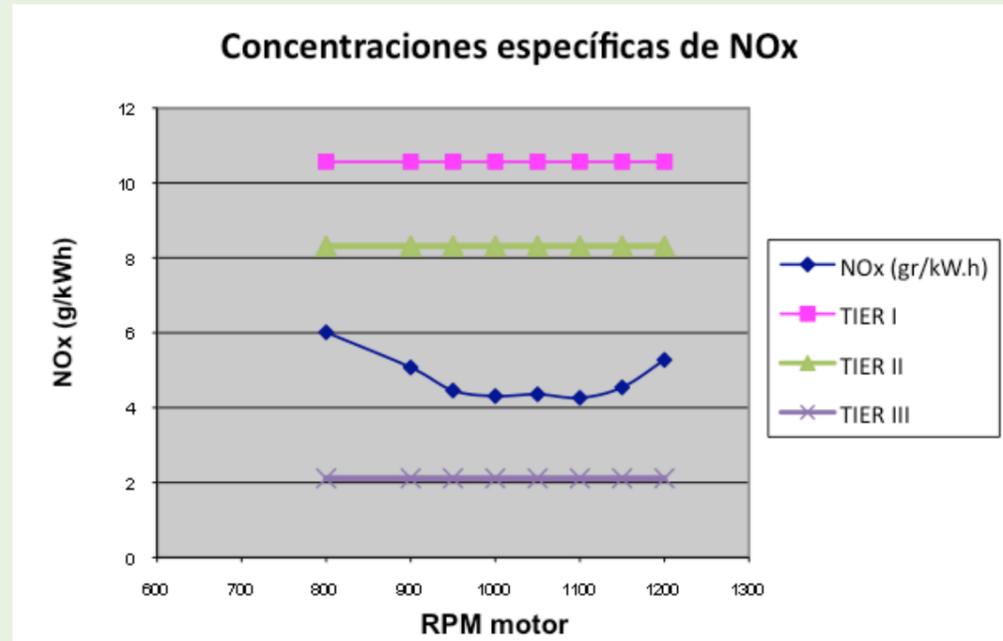


Fig. 105: Ejemplo comparativa de emisiones de NOx medidas frente a niveles máximos TIER.

La normativa IMO Tier I establece los niveles máximos de NOx para motores a bordo de buques construidos entre 2000 y 2010, la IMO Tier II para los buques construidos a partir de 2011 y la IMO Tier III para los que se construyan a partir de 2016.

La gráfica nos muestra que no se cumple la normativa IMO Tier III, que es la más estricta, aunque lógicamente no aplica a los buques de este estudio, así como no aplica la IMO Tier II. Sin embargo sí hay buques construidos entre los años 2000 y 2010, a estos aplica la normativa IMO Tier I. De las mediciones realizadas se comprueba que todos los buques medidos la cumplen.

Sin embargo, hay que notar que la Unión Europea es cada vez más estricta en lo que se refiere a las emisiones de gases, con lo que se recomienda controlar las mismas, para estar preparados ante posibles cambios en dicha normativa.

5.3. Estudio hidrodinámico

La gran mayoría de los buques pesqueros se diseñan y construyen sin una primera fase necesaria de estudio hidrodinámico, de esta manera tanto las formas de su carena, como el propulsor o el timón, no están adaptados a las condiciones de trabajo a las que estarán sometidos según la operativa de los mismos.

Al no estar optimizados, se genera un notable aumento en el consumo de combustible respecto al que tendrían en caso de haber realizado un estudio hidrodinámico previo.

Teniendo en cuenta lo anterior y el hecho de que en el tipo de buques en estudio la propulsión representa alrededor del 60 % del consumo de combustible total del buque, podemos concluir que esta fase del estudio es realmente importante.

Para el estudio hidrodinámico de la carena del buque es necesario disponer de la misma en tres dimensiones, o en último caso, disponer del plano de formas y obtener la carena en 3D a partir del mismo. Además es necesario disponer, de igual manera, en 3D o en plano, de las formas del propulsor y del timón para su estudio.

Si uno de los objetivos de una auditoría energética es la búsqueda de una reducción del consumo de combustible, desde el punto de vista hidrodinámico esto se centra en conseguir una reducción de la resistencia al avance del buque, para así reducir la potencia de propulsión necesaria.

Es por ello que la primera fase para un estudio hidrodinámico se centra en el cálculo de la resistencia al avance del buque.

Mediante el estudio hidrodinámico de carena, propulsor y timón, podemos determinar la bondad del diseño de los mismos para el perfil de operaciones del buque, así como el potencial de mejora existente.

Una vez conocida la resistencia a diferentes velocidades, podremos proponer cambios o medidas a llevar a cabo, y valorar de manera cuantitativa las mejoras producidas, mediante la comparación entre la resistencia correspondiente a las situaciones inicial y final.

Las mejoras se optimizan para la velocidad de ruta, condición de mayor duración y en la que son más efectivas (también son notables en la condición de largado, con velocidades y formas de operar similares a las de ruta).

• Software

A continuación se describen someramente los programas informáticos especializados que se utilizan durante la fase de estudio hidrodinámico:

– NuShallo

Se trata del código de resistencia por olas de HSVa. Es un método CFD no lineal y de superficie libre potencial, capaz de computar un gran número de flujos alrededor de carenas muy diversas.

– STAR CCM+

Código CFD de tipo viscoso, herramienta de simulación hidrodinámica desarrollado por CD Adapco. Emplea el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones que gobiernan el fenómeno físico en cuestión.

– NavCad

Es una herramienta para predicción y análisis de potencia y velocidad de buques, basada en métodos estadísticos. Permite seleccionar distintos tipos de propulsión. Sus capacidades se basan en la predicción de potencia, análisis de la propulsión en estado estacionario, aceleración y dimensionamiento de la propia propulsión.

– PropCad

Se trata de un software de modelado geométrico de hélices. Supone además una herramienta para la creación de planos 2D, vistas 3D, datos constructivos, cálculo de las propiedades geométricas e importación/exportación de archivos CAD-CAM.

Las características básicas son:

- Integración de diseño geométrico tanto de hélices abiertas como en tobera, con o sin skew.
- Construcción desde datos de pala escaneada.
- Cálculo de espesores de acuerdo a sociedad de clasificación.
- Modelado para FEA y CFD.

– **NX-Siemens**

Software CAD de diseño industrial que permite diseño de formas flexibles y precisas. Sistema preparado para interactuar con procesos CAM.

– **PPB**

Software de paneles para hélices que permite calcular:

- Presiones en la pala en flujo uniforme, con o sin núcleo.
- Cavitación.
- Campo de presiones en casco debidas a la cavitación y a la acción de la hélice.
- Cálculo de líneas de corriente.

• **Geometría de la carena, hélice y timón**

El primer paso del estudio hidrodinámico es la obtención de la carena en 3D, a partir del plano de formas del buque, si es que no se dispone de la misma. También se generan en 3D la hélice y el timón, a partir de sus planos correspondientes. Para ello se utiliza el programa NX-Siemens.

Las siguientes gráficas nos muestran las carenas obtenidas para dos de los buques en estudio, una con bulbo de proa y otra sin él, así como una hélice de cuatro palas con su correspondiente timón:

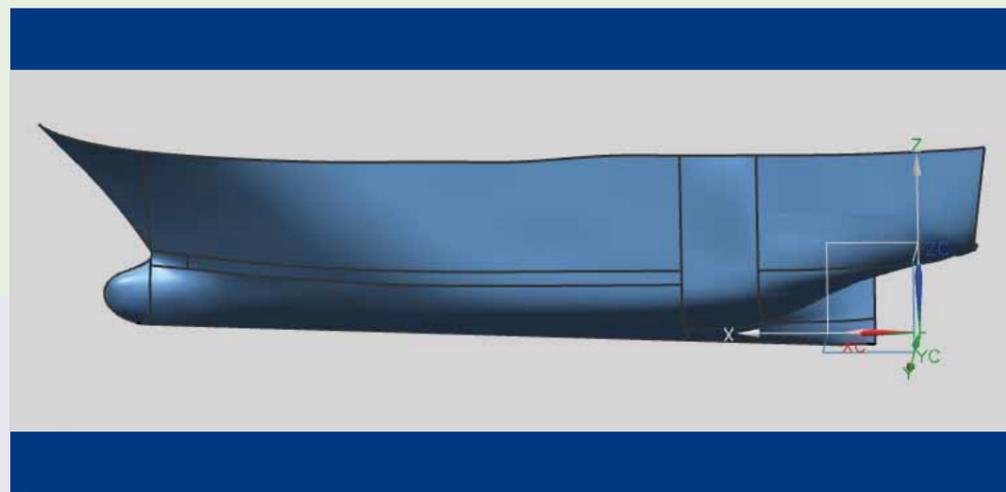


Fig. 106: Ejemplo geometría de una carena con bulbo de proa.

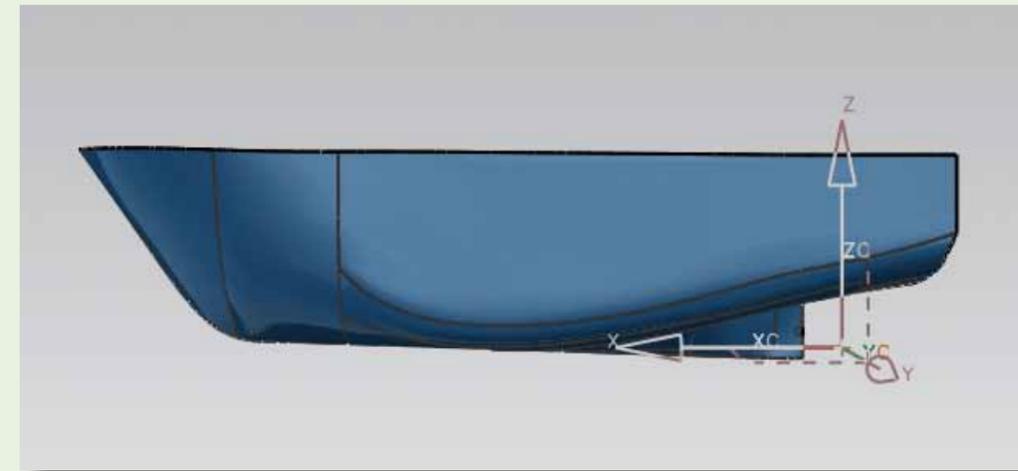


Fig. 107: Ejemplo geometría de una carena sin bulbo de proa.

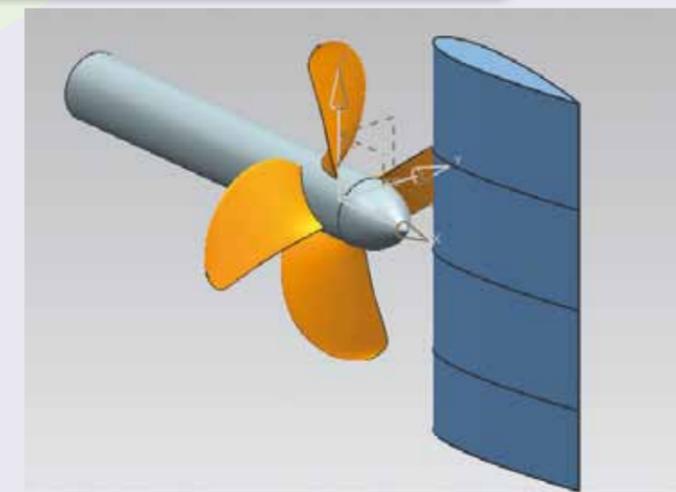
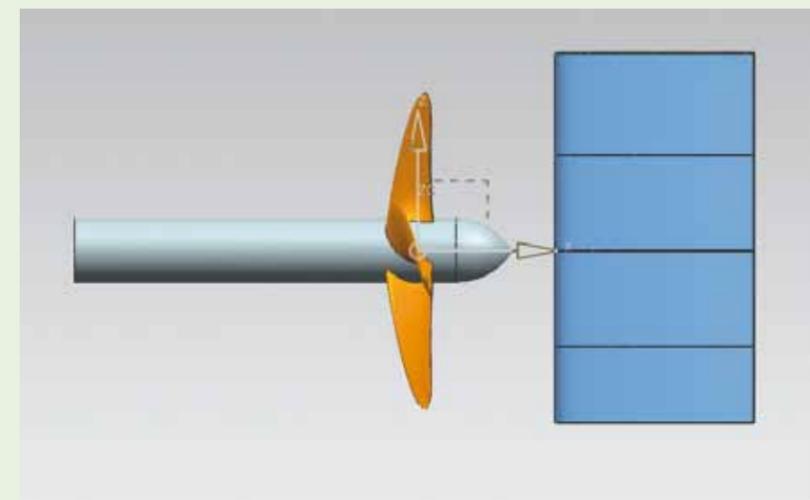


Fig. 108 Ejemplo geometrías de una hélice y un timón

Sobre esta geometría se realizan varios mallados de distintos tamaños de malla que se ensayarán, a distintas velocidades, en los programas usados posteriormente para analizar la convergencia de las soluciones.

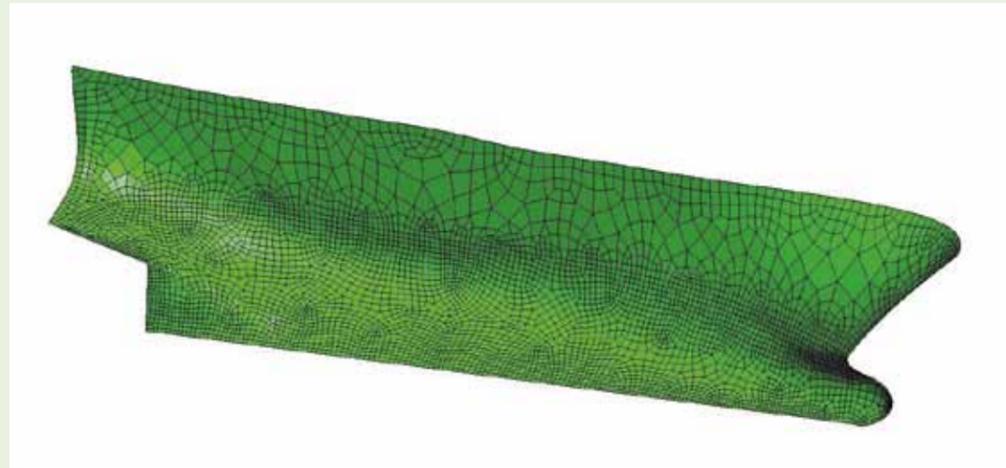


Fig. 109: Ejemplo del mallado de una carena.

• Resistencia al avance

Una vez se dispone de la carena del buque en 3D, se procede al estudio de la resistencia al avance.

Por un lado, se realiza un análisis con NUSHALLO, que nos permite analizar la carena original, para determinar, de forma rápida y precisa, los calados dinámicos del buque así como la resistencia al avance del mismo.

Por otro lado, se realiza un cálculo de la resistencia al avance con el programa NAVCAD.

Se comprueba la bondad de estos cálculos con la comparativa del coeficiente total de resistencia al avance obtenido por ambos métodos, para las velocidades ensayadas:

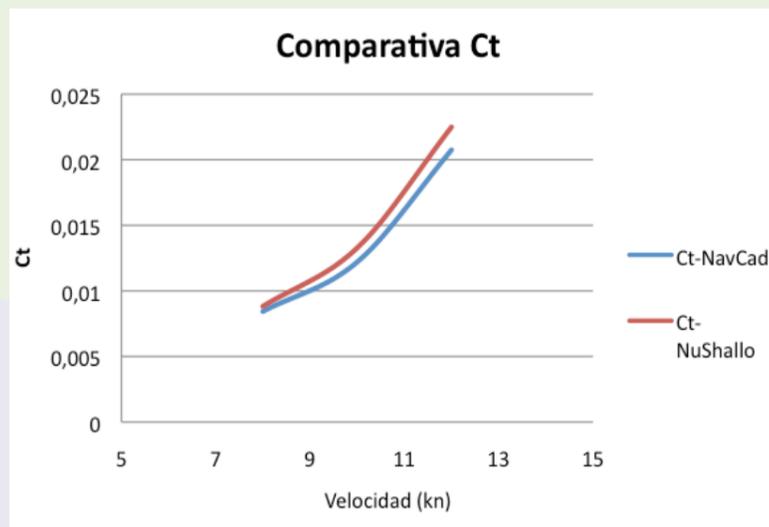


Fig. 110: Ejemplo comparativa Ct diferentes métodos.

Estos datos también nos permiten realizar una comparativa de las potencias de remolque obtenidas por ambos métodos:

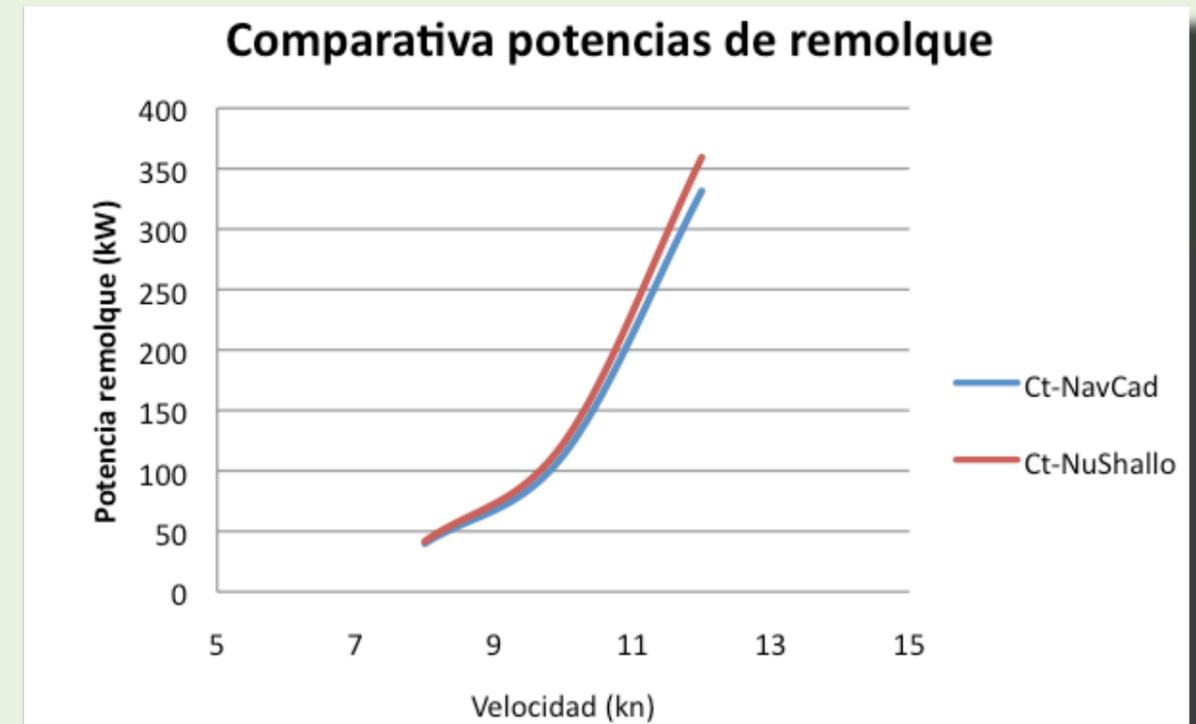


Fig. 111: Ejemplo comparativa potencias de remolque diferentes métodos.

También se estudia la distribución de presiones sobre la carena de los buques:

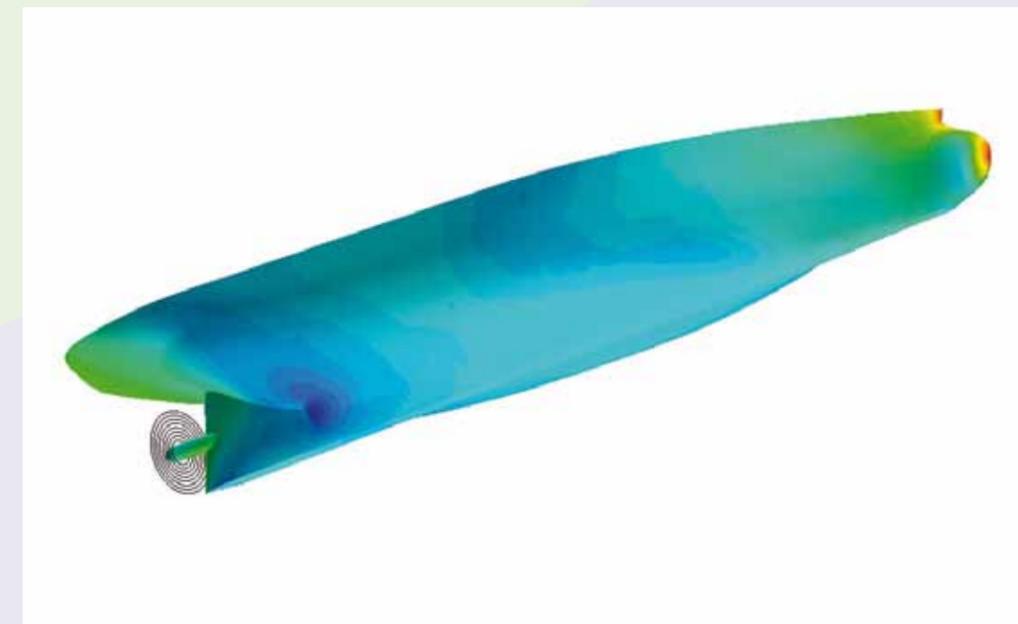


Fig. 112: Ejemplo distribución de presiones sobre una carena

La siguiente figura nos muestra el tren de olas que genera a su paso la carena de uno de los buques en estudio:

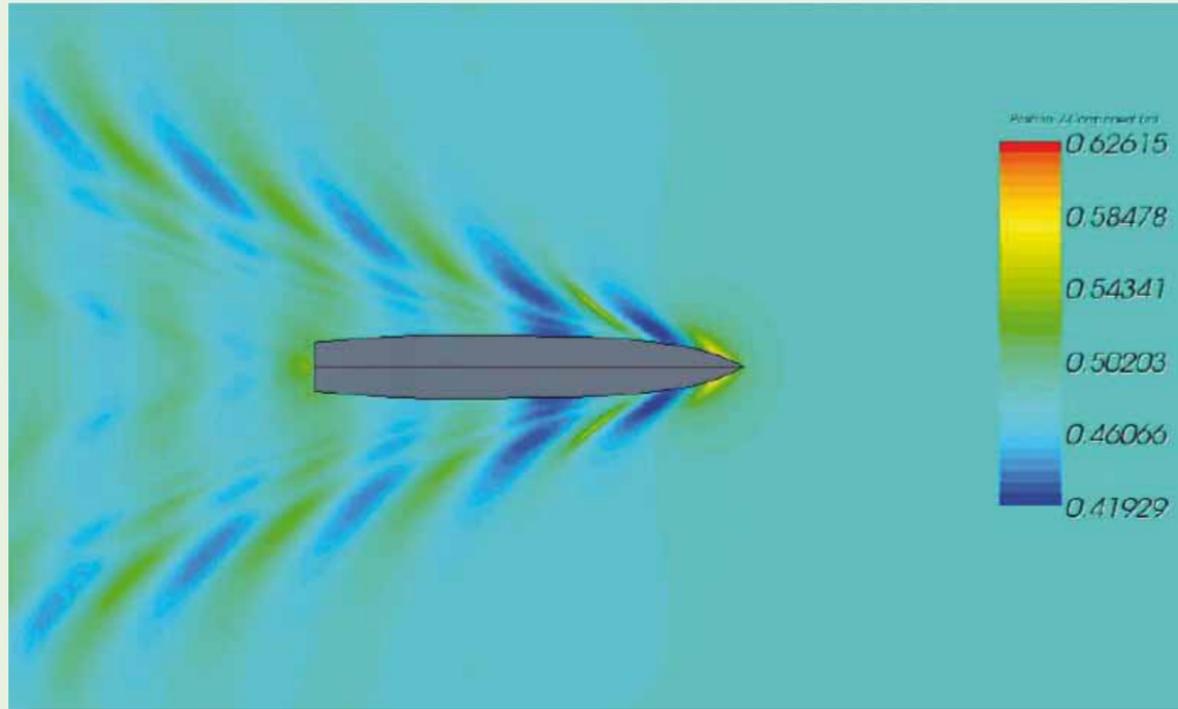


Fig. 113: Ejemplo tren de olas generado por una carena.

• **Análisis de la estela**

Se procede al análisis de la estela por medio del programa STAR CCM+. Se obtiene así el flujo de agua sobre la hélice, pudiendo evaluar la bondad de la estela en zona del propulsor, así como si el diseño del mismo está adaptado al buque.

A continuación se muestran los mapas de estelas axiales para varios de los buques estudiados:

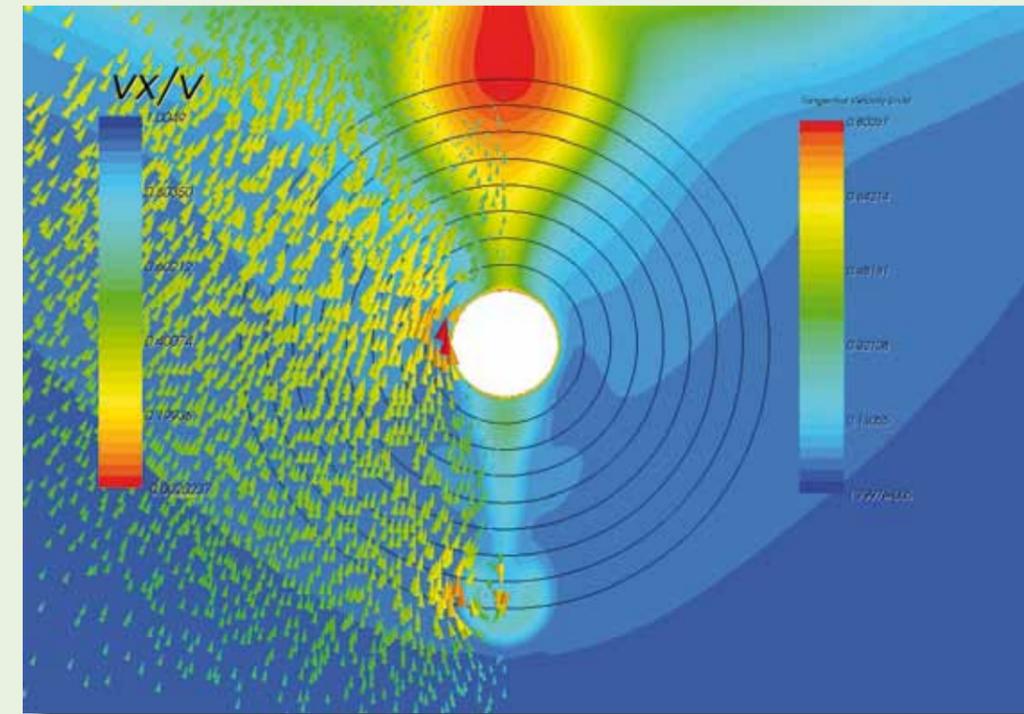
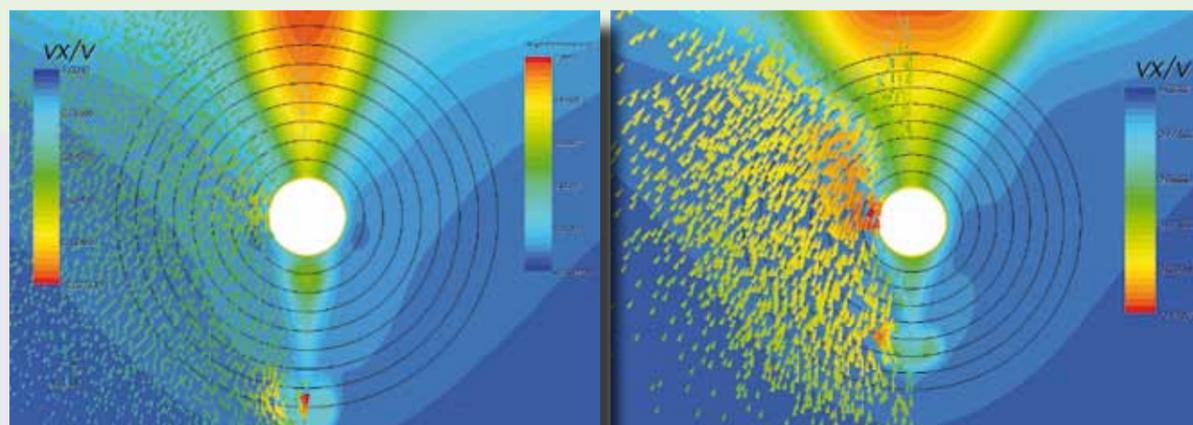
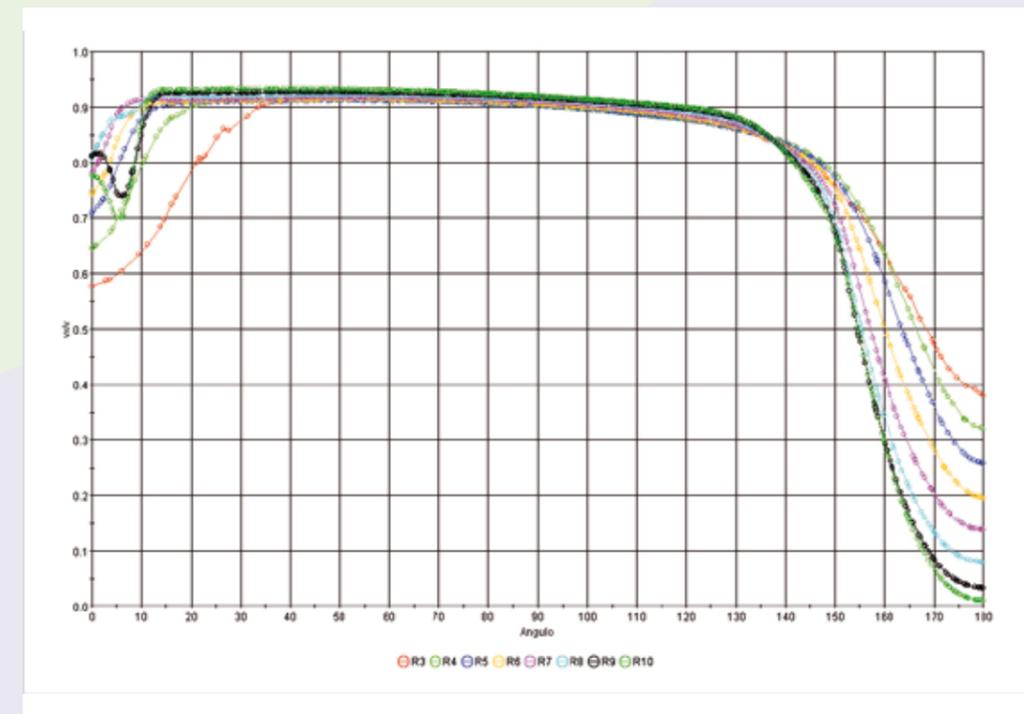


Fig. 114 Diferentes estelas axiales obtenidas

Los siguientes gráficos nos muestran las velocidades, axiales, radiales y tangenciales, respectivamente, del flujo de agua sobre la hélice, para cada posición radial y angular sobre el disco de la misma, correspondientes a los anteriores mapas:



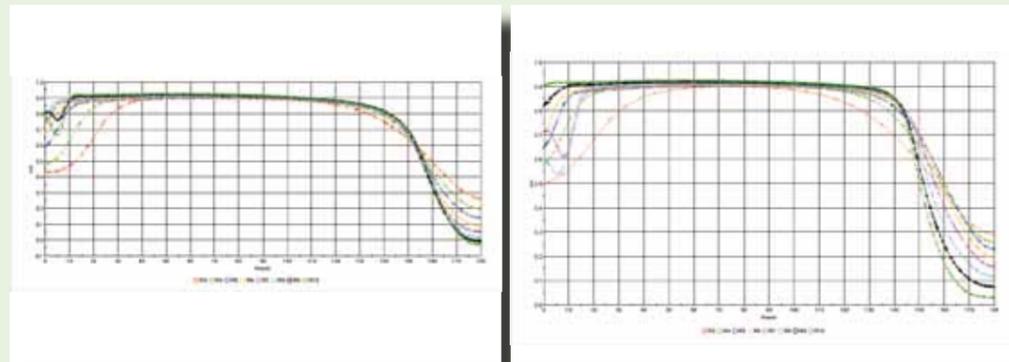


Fig. 115: Gráficas de diferentes estelas axiales obtenidas.

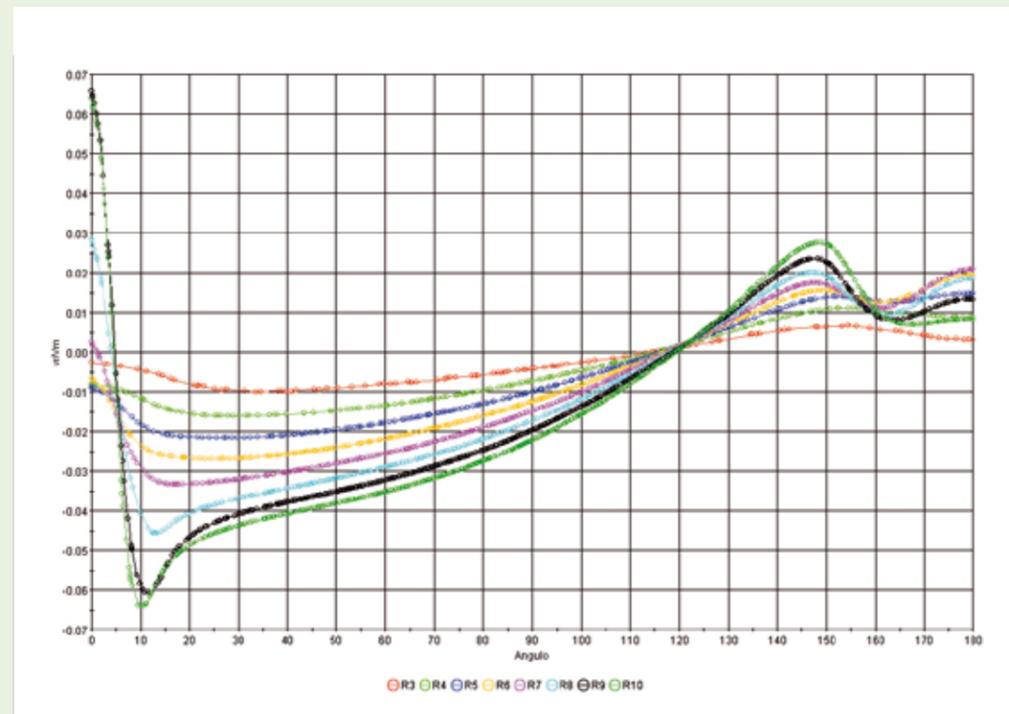


Fig. 116: Gráficas de diferentes estelas radiales obtenidas.

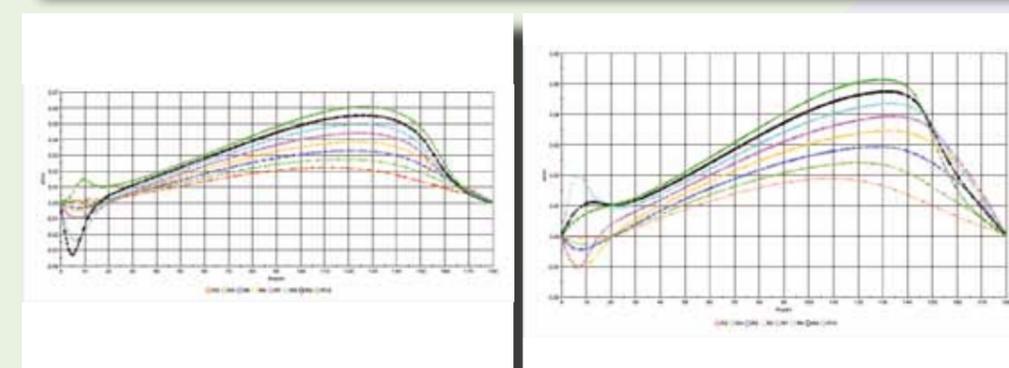
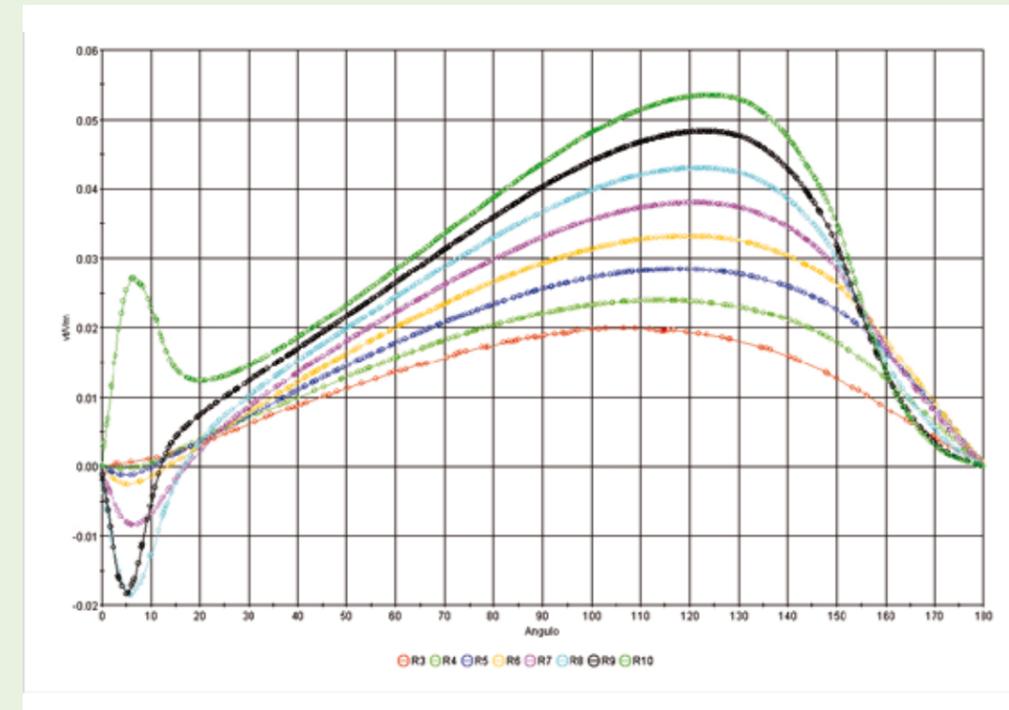
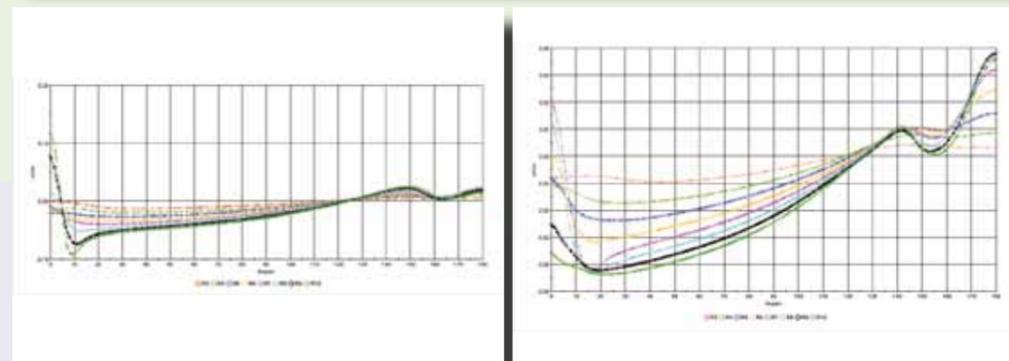


Fig. 117: Gráficas de diferentes estelas tangenciales obtenidas.

Si analizamos los perfiles de velocidades axiales, podemos observar, que existe una zona de remanso en la parte superior del disco, llegando incluso las velocidades axiales a tomar valores negativos, por lo que se produce el reflujos del flujo de entrada al propulsor en esta zona, como podemos observar en la siguiente figura:

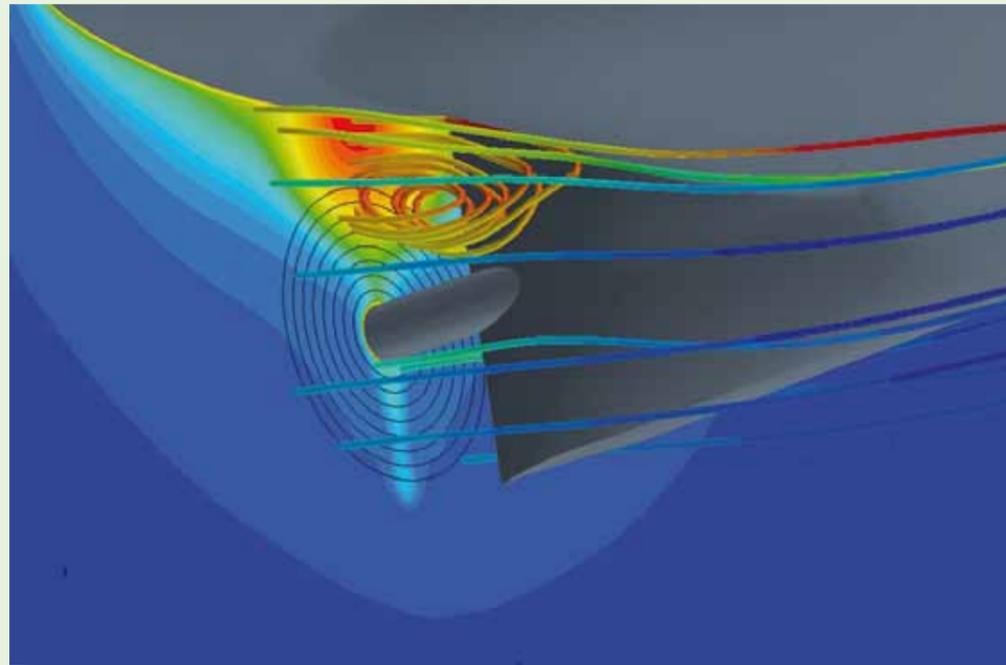


Fig. 118: Ejemplo flujo de agua sobre el disco de la hélice.

Además observamos en la misma zona, que la variación de las velocidades axiales incidentes sobre el disco del propulsor es muy grande, existiendo un alto gradiente de velocidades tanto a lo largo de la pala, en la dirección radial, como durante el giro de la misma, de manera que éstas encuentran en su giro, a su paso por la zona superior, que las velocidades axiales pasan rápidamente de tomar valores cercanos a la unidad a tomar incluso valores negativos.

Lo mismo ocurre, aunque de manera mucho menos acusada en la parte inferior del disco.

Todo lo anterior hace que la hélice no trabaje en condiciones óptimas, generándose muchos efectos negativos.

Por un lado se produce una pérdida de rendimiento del propulsor, y por otro lado el desgaste de las palas es mayor, reduciéndose su vida útil. También se produce cavitación sobre las palas, y se generan vibraciones que afectan por un lado al correcto funcionamiento de la hélice, y que por otro lado pueden transmitirse al casco, generando ruidos a bordo, y pueden también transmitirse al agua, alejando a los peces de la zona, lo que puede dificultar la pesca.

Se pusieron como ejemplo las estelas de tres de los buques en estudio, para dejar patente la igualdad que existe entre ellas, respecto a los tipos de problemas que podemos encontrar, y a las zonas en las que los encontramos. Similares estelas se encuentran para el resto de buques.

• Estudio del propulsor

Es habitual que los buques pesqueros se equipen con hélices de diseños estándar, las cuales distan mucho de estar optimizadas.

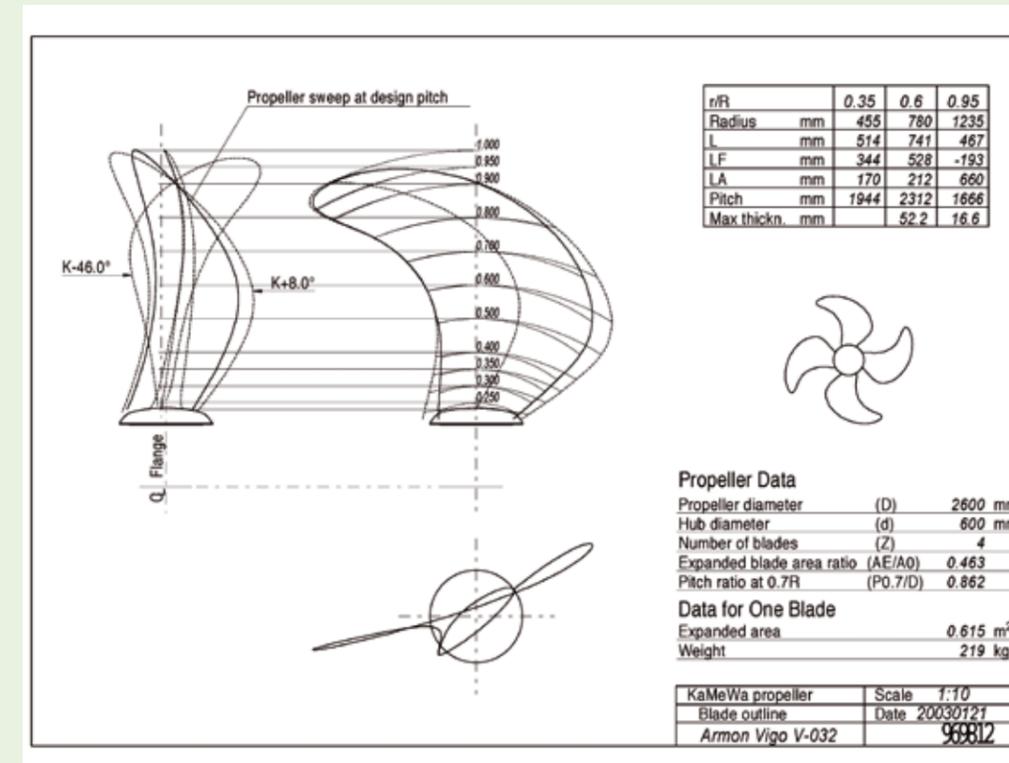


Fig. 119: Ejemplo de plano de una hélice.

Con los datos del flujo de agua en la zona de popa y la geometría de la hélice actualmente instalada en el buque, obtenida a partir del plano de la misma, se realiza un estudio del propulsor con STAR CCM+, mediante el cual se evalúa si el diseño de la misma está adaptado a las formas del buque, que determinan en gran parte la estela, y al perfil operativo del mismo.

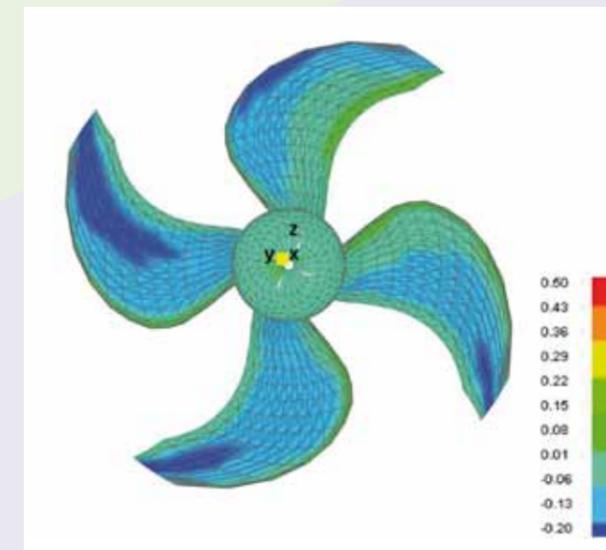


Fig. 120: Ejemplo distribución de presiones sobre una hélice.

Se evalúa la interacción de la hélice con el casco por medio de NAVCAD. De esta forma, podemos obtener la potencia de propulsión necesaria para cada velocidad del buque, así como los correspondientes rendimientos propulsivos:

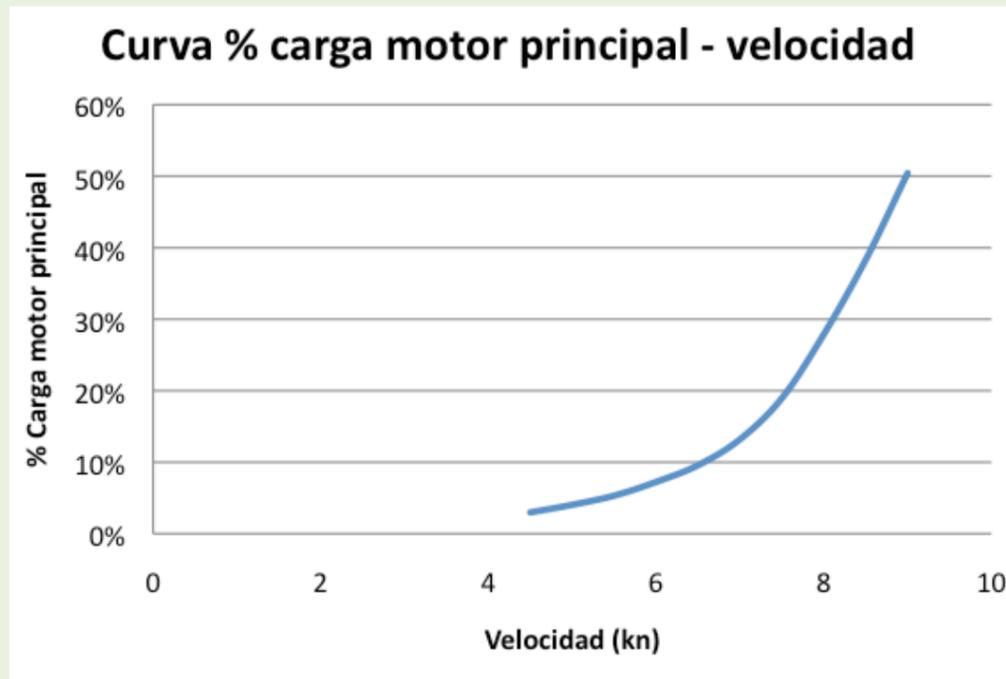


Fig. 121: Curva ejemplo % carga motor principal - velocidad (kn).

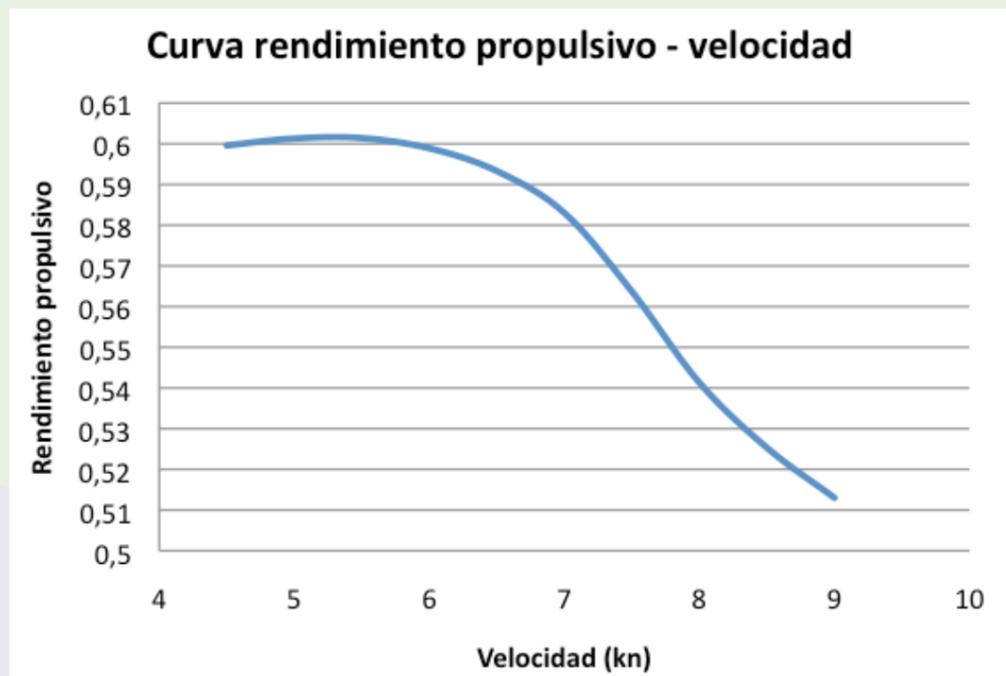


Fig. 122: Ejemplo curva rendimiento propulsivo - velocidad (kn).

La geometría de la hélice es analizada con PPB, para poder determinar sus curvas características K_t , K_q y η .

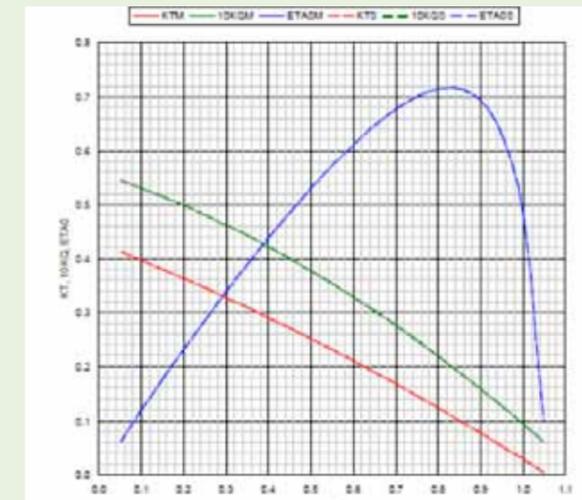


Fig. 123: Ejemplo curvas características de un propulsor.

• Estudio del timón

Una pala de timón convencional tiene una geometría definida por una sección tipo perfil NACA simétrico respecto al plano central del timón. Estas geometrías se definen, en la mayoría de los casos, a partir de criterios de maniobrabilidad del buque y no de eficiencia energética.

La carena y la hélice del buque definen, en gran parte, el flujo de agua que llega al timón, de esta manera los timones deberían diseñarse adaptados al flujo de agua entrante, y por tanto requerirían un diseño en conjunto con el del propulsor y el de la carena del buque.

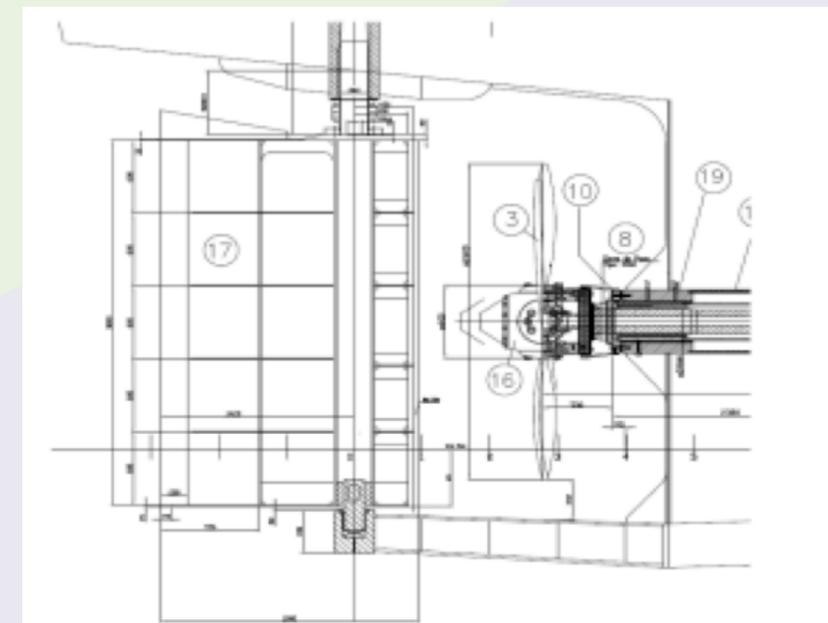


Fig. 124: Ejemplo plano de un timón.

Una vez se tienen las geometrías de los timones en 3D, obtenidas a partir de su plano, éstas se ensayan interaccionando con hélice y carena, para comprobar su comportamiento y su adaptación a las mismas.

La siguiente figura nos muestra un ejemplo típico del flujo de agua que llega al timón, observándose un marcado carácter asimétrico del mismo, y la rotación que imprime la hélice a la masa fluida:

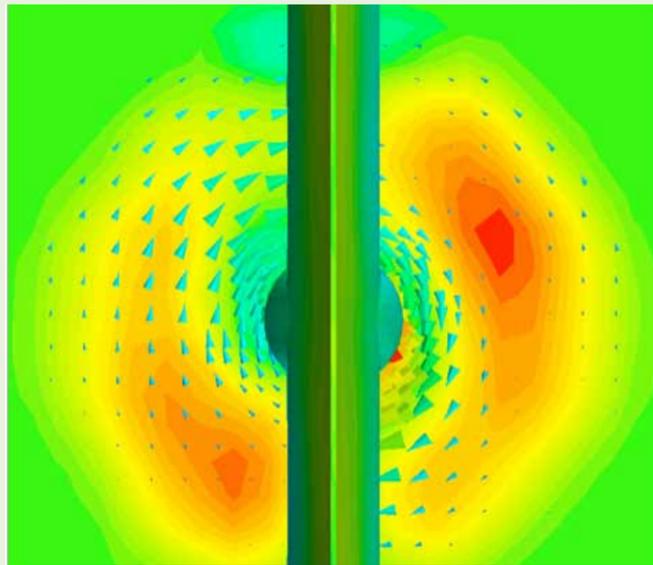


Fig. 125: Ejemplo velocidades axiales y vectores en el plano de la hélice.

En la figura siguiente podemos ver la consiguiente distribución de presiones sobre la superficie del timón, distribución que lógicamente también presenta un marcado carácter asimétrico.

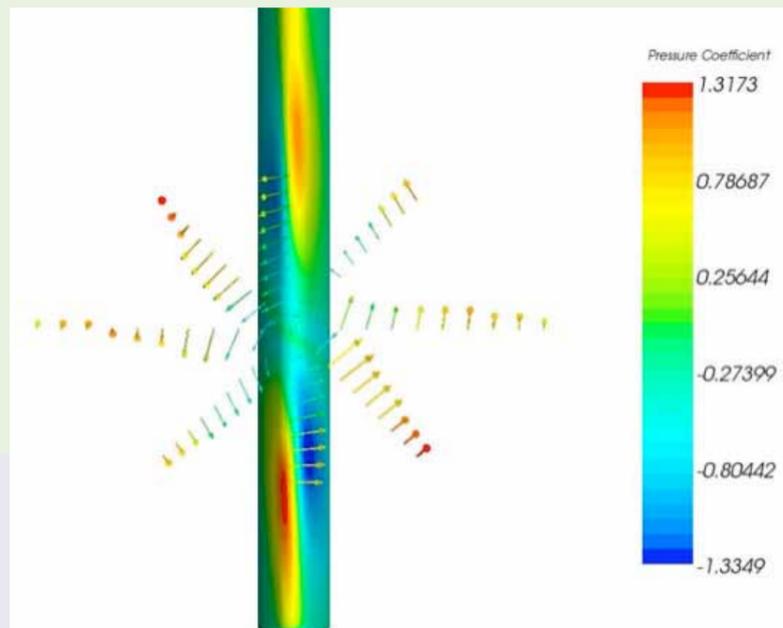


Fig. 126: Ejemplo distribución superficial de presiones sobre la superficie del timón.

Esta asimetría nos indica que el diseño de los timones no se ha adaptado a sus condiciones de trabajo, lo que conlleva pérdidas de rendimiento propulsivo del conjunto hélice - timón, mayor transmisión de vibraciones al casco y problemas de cavitación

• **Colocación de las quillas de balance**

La forma tradicional de posicionar los apéndices no suele tener en cuenta las líneas de flujo que sigue la corriente sobre el casco, de forma que las quillas de balance pueden ofrecer una cierta oposición, y generar una resistencia adicional al avance, evitable si las mismas estuviesen alineadas con las líneas de corriente.



Fig. 127: Quilla de balance.

La siguiente imagen nos muestra un ejemplo típico de la posición de una quilla de balance respecto a las líneas de corriente sobre la carena de un buque, como se puede apreciar la quilla está posicionada de forma que corta las líneas de flujo:

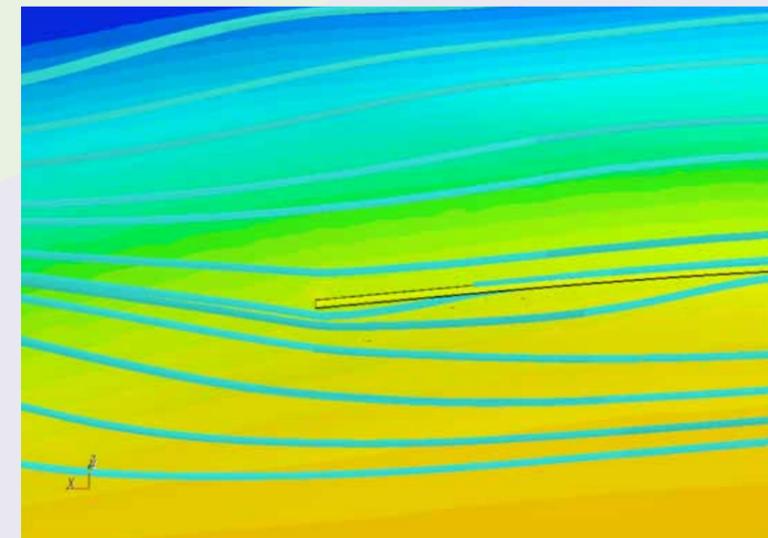


Fig. 128: Ejemplo quilla de balance cortando líneas de corriente sobre la carena.

• **Alineación de datos mediciones - estudio hidrodinámico**

Los datos obtenidos por ambos métodos pueden ser alineados, lo que nos permite comprobar la bondad de los mismos. Para ello podemos realizar una comparativa de los coeficientes totales de resistencia al avance:

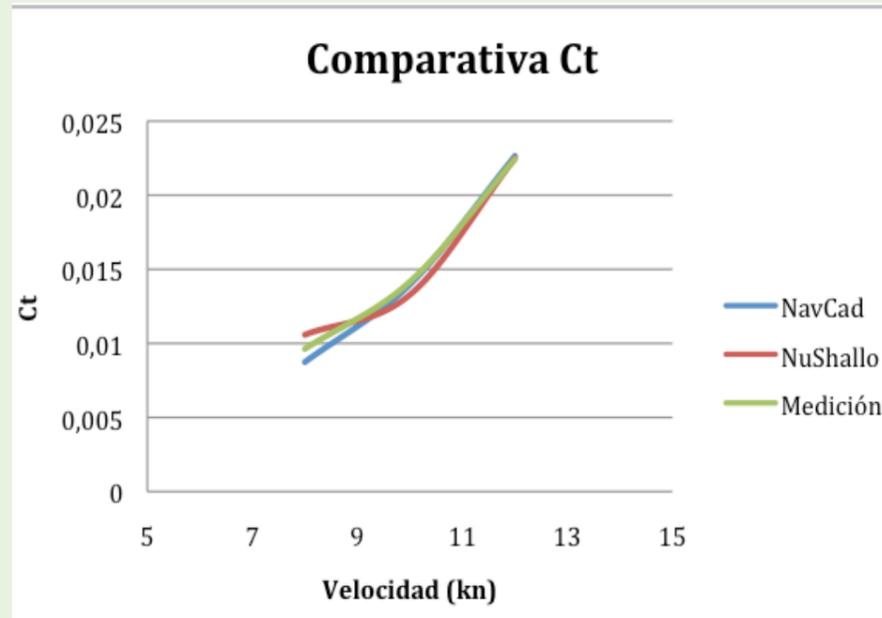


Fig. 129: Ejemplo comparativa Ct obtenidos por los diferentes métodos.

O bien puede realizarse una comparativa de las potencias de propulsión obtenidas:

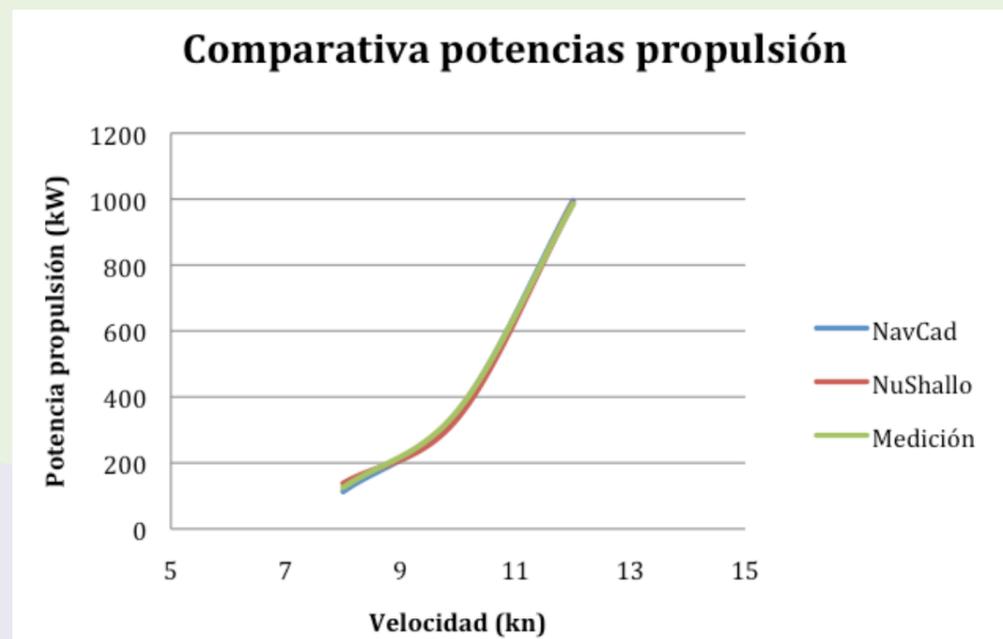


Fig. 130: Ejemplo comparativa potencias de propulsión (kW) obtenidas por los diferentes métodos.

Las pequeñas desviaciones que pueden observarse son normales, pues el software utilizado aplica en su cálculo un margen de mar supuesto, en muchas ocasiones menor al que realmente se da durante las mediciones; por otro lado también influyen factores tales como la rugosidad que se le supone al casco del buque, que puede ser diferente a la real.

La realización de estas alineaciones cobra una gran importancia para el estudio de los buques en los que no se han realizado mediciones a bordo. En el estudio de los mismos, se utilizará la curva potencia – velocidad obtenida del estudio hidrodinámico; las simulaciones realizadas, nos permiten asegurar que dichas curvas se ajustan a la realidad de una manera muy exacta.

5.4. ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA PROPULSORA

Una vez disponemos de las curvas de potencia-velocidad y potencia-consumo del motor principal, y con el perfil operativo del buque, en cuanto a velocidades y tiempos, estaremos en disposición de hacer un estudio profundo de la eficiencia energética de la planta propulsora, que representa aproximadamente el 60% del total del consumo de combustible del buque.

La curva potencia –velocidad nos permite obtener las potencias de propulsión necesarias a las distintas velocidades de operación del buque, para posteriormente con la curva potencia – consumo calcular los consumos de combustible en dichas situaciones. Finalmente con el perfil operativo de tiempos y velocidades podremos obtener un perfil de consumos de la planta propulsora según la condición de operación del buque.

Esto nos permitirá estudiar si el motor está adecuadamente dimensionado respecto a las necesidades de propulsión del buque, cuán lejos o cerca trabaja de su punto óptimo, etc., y en base a ello detectar qué puntos podemos atacar y que propuestas viables, técnica y económicamente, podemos plantear para conseguir una disminución de los consumos.

NOTA: Para los buques en los que no se realizaron mediciones de potencia del principal, se estimará la curva potencia – velocidad, mediante la curva obtenida mediante el estudio hidrodinámico.

Para los buques en los que no se realizaron mediciones de consumos se estimará la curva potencia – consumos mediante la utilización de una curva de banco de pruebas. Dichas curvas representan menores consumos que los reales, por las condiciones en que se realizan las pruebas, y por realizarse sobre motores nuevos, para paliar dicha diferencia añadiremos a los consumos medidos en el banco de pruebas un tanto por ciento adecuado al motor en cuestión y a las condiciones del mismo.

• **Perfil de potencias de la planta propulsora**

Del cómputo global de estudios realizados en los diferentes buques, se obtiene y se presenta la siguiente gráfica, que nos permite comparar las cargas de los motores principales en cada condición de operación para cada buque:

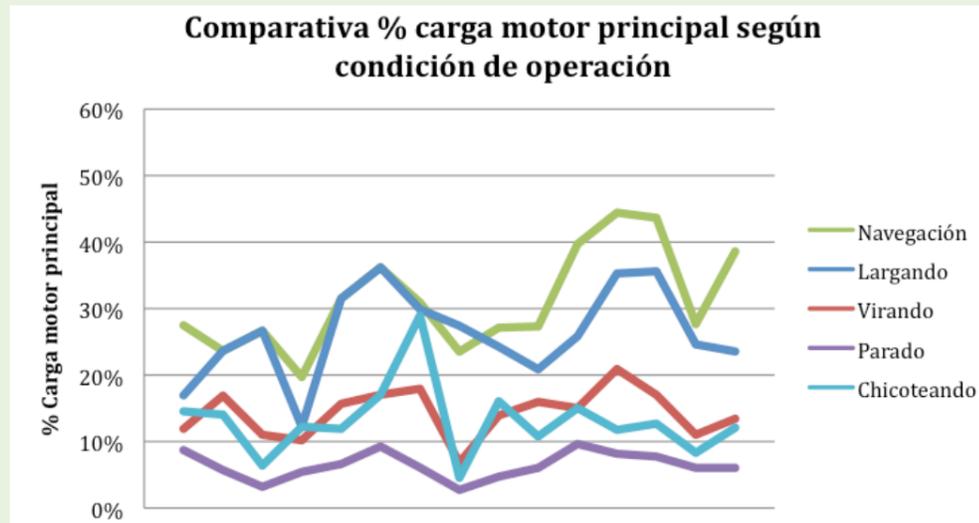


Fig. 131: Comparativa % carga motores principales según condición de operación.

Se obtiene, como media de los estudios realizados, el perfil tipo de carga del motor principal, según la condición de operación:

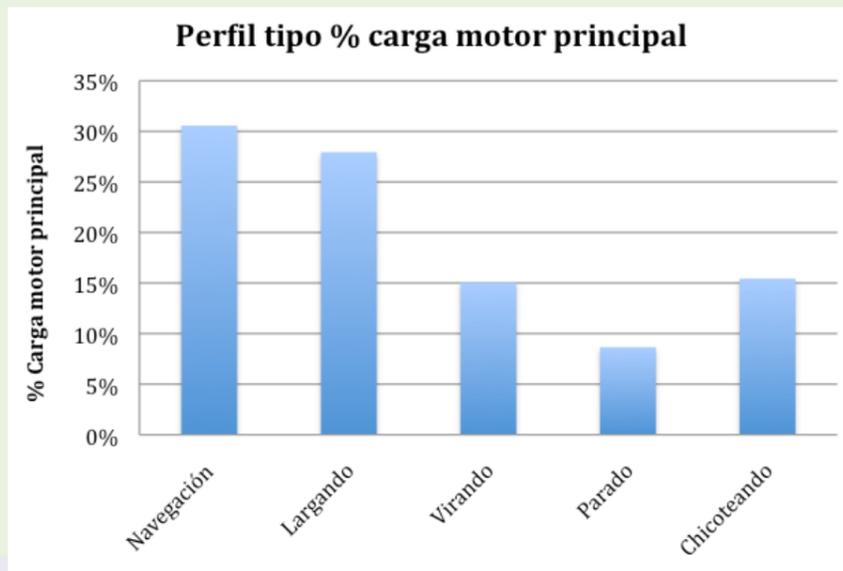


Fig. 132: Perfil tipo % carga motor principal según condición de operación.

Al depender la potencia de propulsión necesaria para el movimiento del buque de la resistencia al avance del mismo y de la velocidad, se entiende que las mayores potencias correspondan a las condiciones de operación de navegación y largado, condiciones que se realizan a mayores velocidades.

Lógicamente la menor potencia demandada se da en la condición de buque parado (mantenimiento de posición).

Respecto a la condición de virado, puesto que el motor no se mantiene a un régimen constante, ya que se disminuye y aumenta la velocidad constantemente, pues la maniobra así lo requiere, la carga reflejada en la anterior gráfica representa más una carga media, que la carga real a la que trabaja el motor.

Al ser los consumos en l/h directamente proporcionales a la potencia desarrollada por el motor, la gráfica que representa el perfil tipo de consumos en l/h, tiene la misma forma que la anterior, y las mismas consideraciones que se hacían sobre las mayores o menores potencias de propulsión son directamente extrapolables a los mayores o menores consumos en l/h.

• **Condiciones de trabajo del motor principal**

Haciendo referencia a la última gráfica presentada, podemos observar que los motores funcionan de manera habitual por debajo del 30 % de su potencia nominal, es decir muy lejos de su punto óptimo de trabajo, punto que dependiendo del motor en concreto, suele estar en torno al 70 – 80 % de su carga. A lo largo del estudio se encuentra que el rango de carga en el que trabajan los motores se encuentra entre el 5 y el 45 %.

Es importante hacer notar que el motor no se diseña para trabajar, de forma habitual, en estos regímenes de trabajo, debido a ello trabajar lejos del punto óptimo puede causar un envejecimiento prematuro del motor, lo que da lugar a mayores gastos de mantenimiento.

Sin embargo lo más importante, desde el punto de vista de la eficiencia energética, es que al alejarnos del punto óptimo, los consumos específicos van aumentando, alcanzando máximos para las mayores y menores cargas del motor.

Lo más lógico, en estos casos, sería dimensionar el motor de manera que operase en su punto óptimo durante las condiciones de ruta y largado, con una demanda de potencia similar, y que juntas representaran casi el 50 % del tiempo total de la operativa del buque.

El perfil tipo de consumos específicos en los buques estudiados se representa en la siguiente gráfica:

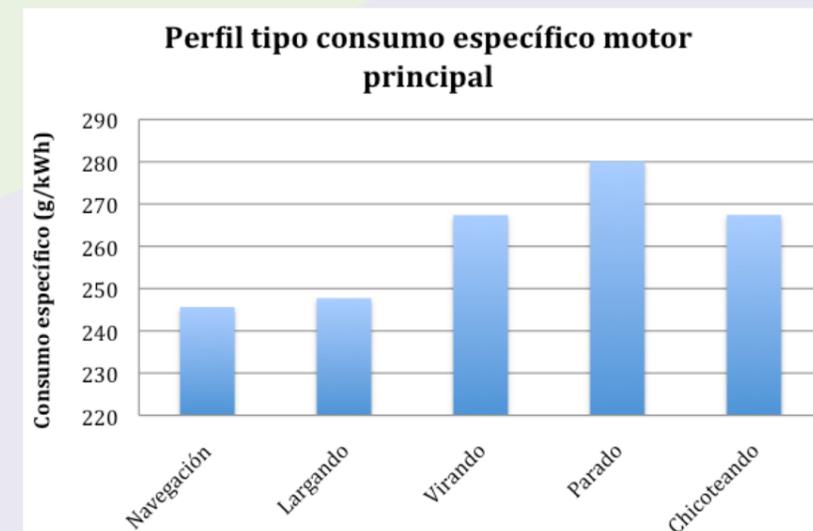


Fig. 133: Perfil tipo consumos específicos del motor principal según condición de operación.

Como vemos los mayores consumos específicos se dan en las condiciones de buque parado, virando y chicoteando, condiciones con una menor demanda de potencia de propulsión (motor principal al 5 – 15 %), muy alejados de la franja del 70 - 80 % de carga mencionada, llegando alcanzar algunos buques consumos específicos bastante elevados, entre 270 y 300 g/kWh.

En las condiciones de navegación y largando la carga del motor se encuentra alrededor del 30 %, los consumos específicos son algo menores, pero siguen siendo demasiado elevados.

Se evidencia aquí que la gran mayoría de los motores principales están sobre dimensionados en cuanto a las necesidades de propulsión del buque, y que por tanto el motor consume más combustible del necesario.

• Perfil de consumos de la planta propulsora

Sobre el consumo total de la planta propulsora del buque, se obtiene como resultado de todos los buques estudiados, la siguiente gráfica tipo, que nos muestra el tanto por ciento de consumo durante cada condición de operación:

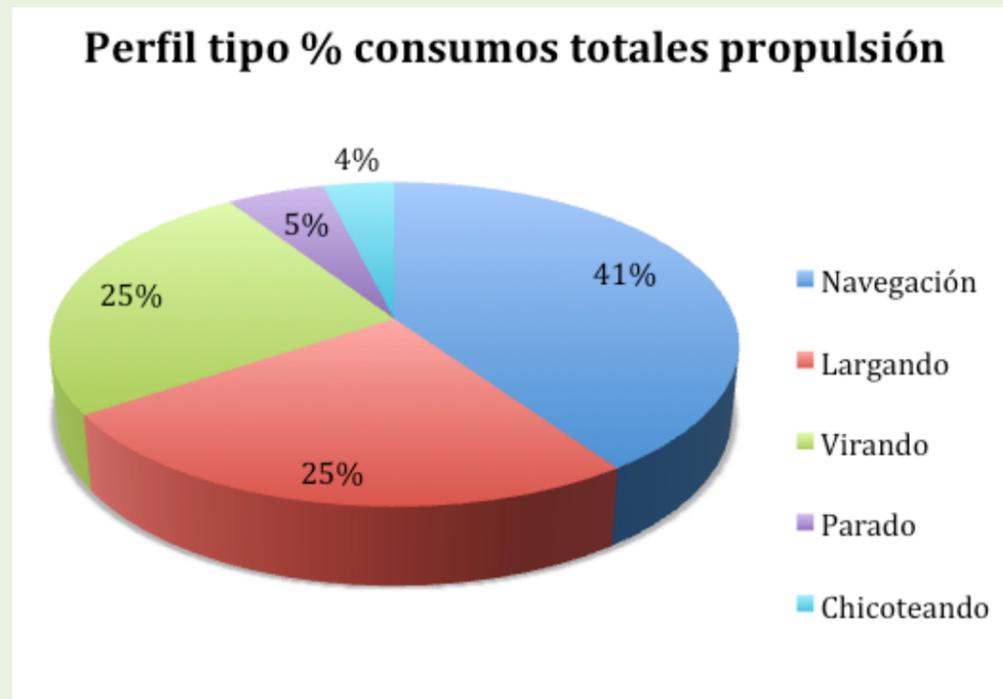


Fig. 134: Perfil tipo consumos totales propulsión según condición de operación.

Como cabía esperar los mayores consumos totales se dan en las condiciones de ruta, largando y virando, las dos primeras por ser las que mayores potencias consumen, y representar, como media, alrededor de un 29 y un 20%, respectivamente, del tiempo total de la campaña, y la condición de virada por ser la que mayor tiempo dedica el buque, alrededor de un 37%.

Las condiciones de buque parado y chicoteo son las que menos aportan al total de los consumos, pues además de ser las que menor potencia demandan, también son las que menor tiempo de campaña representan.

Debido a lo anterior, las mejoras que se planteen, y que afecten al consumo de la planta propulsora, se optimizarán para las velocidades de ruta y largado, en general muy próximas.

• Condiciones de trabajo de la hélice

De los diferentes estudios hidrodinámicos realizados, se observa que las estelas en las que trabajan las hélices no son adecuadas, generándose, al margen de otros muchos efectos negativos, una pérdida de rendimiento de las mismas, lo que implicará una mayor demanda de potencia al motor principal.

De los estudios también se deriva que tanto el diseño de los propulsores como sus condiciones de trabajo, no se adaptan de una manera adecuada a las formas y condiciones de operación de los buques, aumentando la potencia demandada al motor principal.

El rediseño del propulsor, así como de sus condiciones de trabajo, se presenta como un punto importante a la hora de obtener mejoras en la planta propulsora.

5.5. ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA GENERADORA

La planta generadora es la responsable de alrededor del 40 % de los consumos totales de combustible a bordo.

La realización de un balance eléctrico estimado, nos permite conocer la demanda de potencia eléctrica que ha de cubrir la planta generadora del buque en cada condición de operación, por otro lado la curva de potencia – consumos, nos permitirá evaluar los consumos correspondientes. Finalmente con el perfil operativo de tiempos podremos obtener un perfil de consumos de la planta generadora según la condición de operación del buque.

Esto nos permitirá estudiar si los motores auxiliares están adecuadamente dimensionados respecto a las necesidades de generación eléctrica del buque, cuán lejos o cerca trabaja de su punto óptimo, etc., y en base a ello detectar qué puntos podemos atacar y que propuestas viables, técnica y económicamente, podemos plantear para conseguir una disminución de los consumos.

Se estimará la curva potencia – consumos mediante la utilización de una curva de banco de pruebas, de igual manera que se hizo con el motor principal en los casos en los que fue necesario.

• Realización del balance eléctrico

Los principales consumidores en este tipo de buques, por el peso que su potencia tiene sobre el total, son los compresores de túneles y bodega y la maquinaria de pesca. La diferencia entre las potencias demandadas entre las diferentes condiciones de operación del buque reside principalmente en cuáles de estos consumidores están activos.

Por ello se han establecido las siguientes siete condiciones de operación, pues resulta más sencillo y preciso realizar el balance eléctrico mediante esta división:

- Condición 1: consumos esenciales.
- Condición 2: maquinilla virando + bodega + consumos esenciales.
- Condición 3: maquinilla largando + bodega + 1 túnel + consumos esenciales.
- Condición 4: maquinilla largando + bodega + 2 túneles + consumos esenciales.
- Condición 5: bodega + consumos esenciales.
- Condición 6: bodega + 1 túnel + consumos esenciales.
- Condición 7: bodega + 2 túneles + consumos esenciales.

Una vez obtenidos y analizados los resultados, éstos se trasladan a las cinco condiciones de operación típicas: ruta, largando, virando, parado y chicoteando.

Se realiza la siguiente división para los consumidores de potencia eléctrica: Iluminación (exterior e interior), Maquinaria (de pesca), Refrigeración (compresores de túneles, bodega y gambuza) Ventilación (CCMM y túneles), Aire acondicionado, Bombas, Otros (resto de bombas, cocina, equipos eléctricos de puente de navegación y resto de consumidores).

NOTA: Para el buque N°4, con sólo un túnel de congelación las condiciones 4 y 7 no computan. Para los buques N°7, N°8 y N°10, con tres túneles de congelación, han de considerarse dos nuevas condiciones de operación: "maquinilla largando + bodega + 3 túneles + consumos esenciales" y "bodega + 3 túneles + consumos esenciales".

• Perfil de consumos de la planta generadora

Del cómputo global de estudios realizados en los diferentes buques se obtiene y se presenta la siguiente gráfica que nos permite comparar las potencias de propulsión necesarias en cada condición de operación para cada buque:

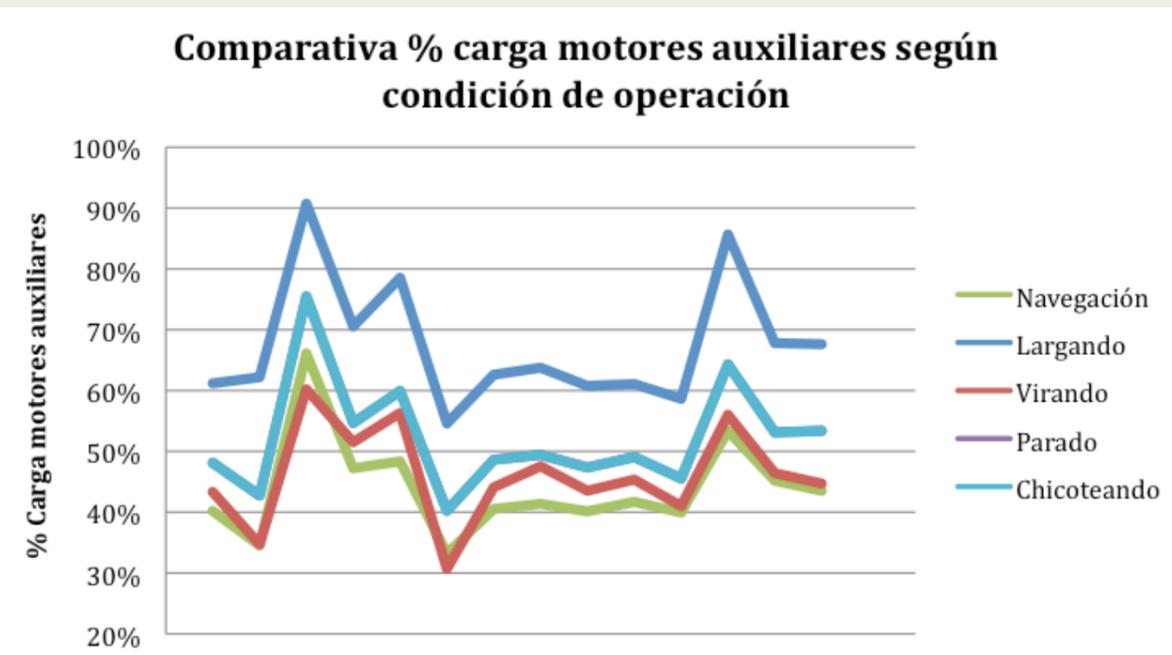


Fig. 135: Comparativa % carga motores auxiliares según condición de operación.

Por otro lado se obtiene, como media de todos los casos estudiados, el perfil tipo de carga de los motores auxiliares, según la condición de operación:

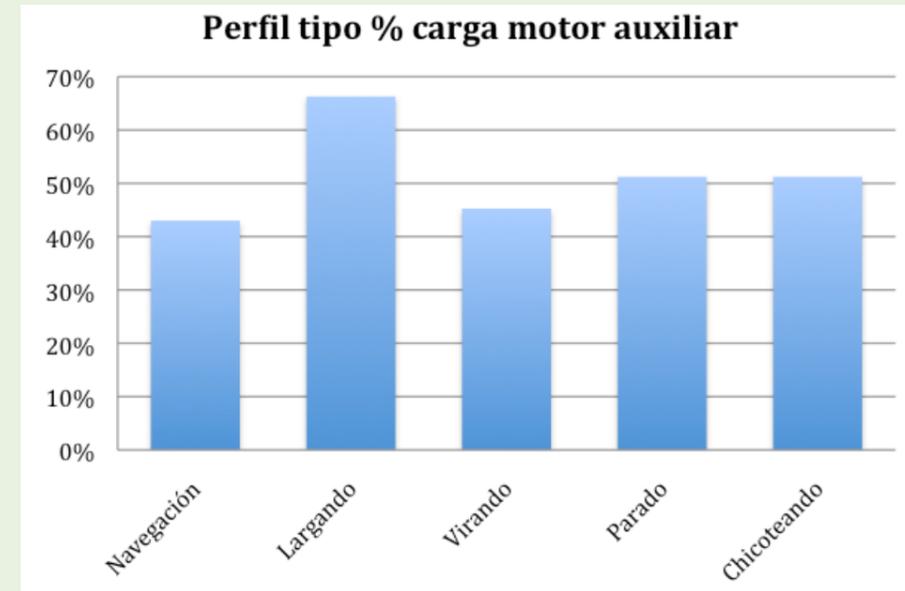


Fig. 136: Perfil tipo % carga motores auxiliares según condición de operación.

La condición de operación que mayor potencia demanda es la de largado, pues es la única condición en que a parte de los consumidores activos de manera constante, también se encuentran en funcionamiento la lanzadera para largar el aparejo y, en general, uno o dos túneles de congelación, según las necesidades, y sus correspondientes ventiladores, en función de la pesca obtenida.

A continuación se encuentran las condiciones de chicoteo y espera, durante las mismas no se utiliza la maquinaria de pesca, y el funcionamiento de los túneles y ventiladores, dependerá de la pesca, en muchos casos durante el largado hay tiempo suficiente para la congelación de la misma, por eso, estas condiciones representan, de media, menores potencias.

Las operaciones de virado y ruta son las que menos potencia demandan.

Durante la operación de virado, a pesar de estar en funcionamiento el tambor de palangre, los túneles y sus correspondientes ventiladores no se utilizan.

Durante la ruta puerto-caladero y caladero-puerto no tenemos activos ni la maquinaria de pesca ni los túneles de congelación, sí la bodega en el segundo caso. En los cambios de zona si están en funcionamiento uno o dos túneles de congelación, pero estos periodos de tiempo no representan un porcentaje significativo sobre el total del tiempo dedicado a la navegación.

Al ser los consumos en l/h directamente proporcionales a la potencia desarrollada por el motor, la gráfica que representa el perfil tipo de consumo en l/h, tiene la misma forma que la anterior, y las mismas consideraciones que se hacían sobre las mayores o menores potencias demandadas son directamente extrapolables a los mayores o menores consumos en l/h.

NOTA: Es importante notar que, salvo una excepción, es posible cubrir toda la demanda de potencia eléctrica con un solo grupo auxiliar, y es así como se suele operar. Para no desvirtuar los datos presentados para el cálculo de la anterior gráfica, no se tiene en cuenta la citada excepción. Respecto a los contados casos en los que, por decisión y no por necesidad, se utilizan dos auxiliares, la gráfica representa la carga a la que iría si sólo fuese uno en funcionamiento. Para tener en cuenta también el caso del buque N° 8, que cuenta con un generador de cola, se calcula la carga a la que iría el auxiliar si no estuviese el cola en funcionamiento.

• Condiciones de trabajo de los motores auxiliares

Valorar las condiciones de trabajo de los motores auxiliares mediante las anteriores gráficas puede ser complicado, pues son difíciles de interpretar, hay que tener en cuenta que cada una de las condiciones de operación reflejadas, es una composición de las siete condiciones que se establecieron para realizar el balance eléctrico, cada una con su correspondiente peso. Por lo tanto la anterior gráfica representa unos valores ponderados.

Esto quiere decir que, por ejemplo, durante las operaciones de largado, condición compuesta de las condiciones 3 y 4, el motor auxiliar irá durante un tiempo al régimen correspondiente a la condición 3 y el resto del tiempo al correspondiente a la condición 4.

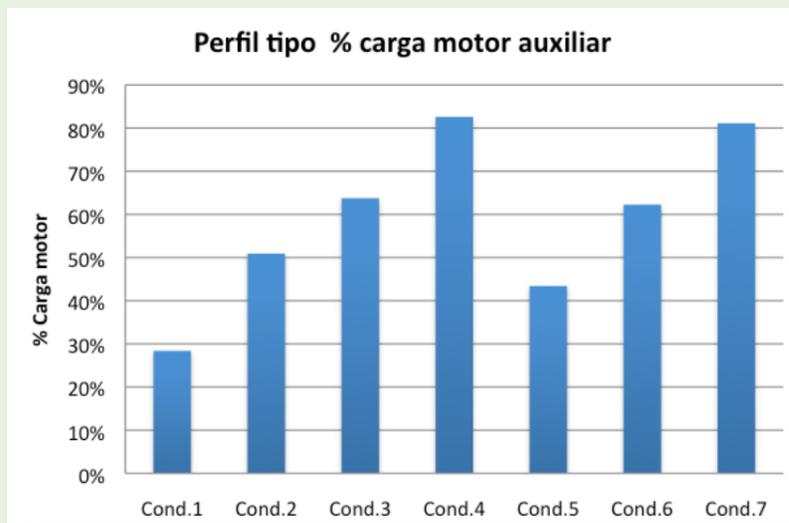


Fig. 137: Perfil tipo % carga motor auxiliar según condición de operación.

El perfil tipo de consumos específicos en los buques estudiados se representa en la siguiente gráfica:

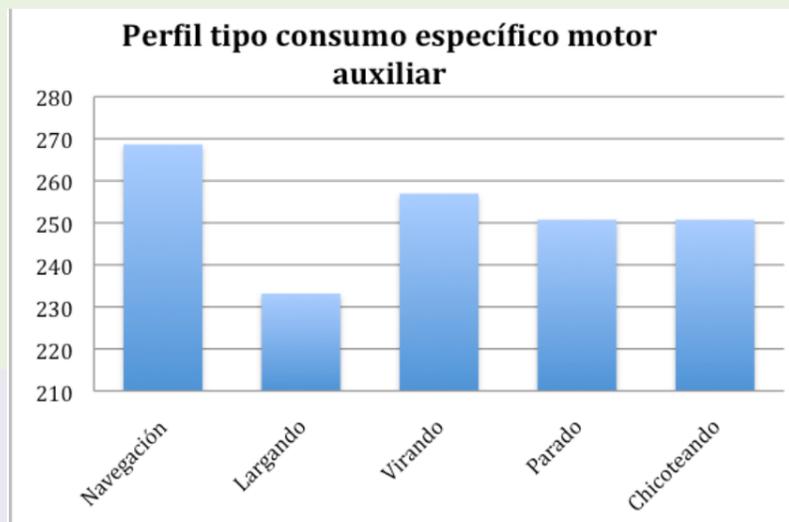


Fig. 138: Perfil tipo consumos específicos (g/kWh) motor auxiliar según condición de operación.

Como vemos los menores consumos específicos se dan durante las operaciones de largado, chicoteo y buque parado, pues sus demandas de potencia eléctrica son mayores, haciendo trabajar al motor más cerca de su punto óptimo de funcionamiento.

Les sigue la condición de virada con consumos específicos mayores.

Finalmente encontramos un elevado consumo específico durante la condición de navegación, que es la que genera una menor demanda de potencia eléctrica.

Se encuentra que los motores auxiliares están mejor dimensionados que los motores principales, trabajando, según el buque, entre el 30 y el 90 % de su potencia nominal, con consumos específicos que en muy pocos buques superan los 270 g/kWh en alguna condición.

En cualquier caso para una misma carga el consumo específico crece cuanto más pequeño es el motor, por ello a pesar de estar mucho mejor dimensionados los auxiliares, los consumos específicos, a pesar de ser menores, no son tanto inferiores, y de hecho los consumos específicos medios suelen ser menores para el motor principal; en esto también influye que estos tienen muy altos consumos específicos en las situaciones de chicoteo y espera, mientras que los auxiliares los tienen en navegación y virado, con una duración mucho mayor.

• Perfil de consumo planta generadora

Sobre el consumo total de la planta generadora del buque, se obtiene como resultado de todos los buques estudiados, la siguiente gráfica tipo, que nos muestra el tanto por ciento de consumo durante cada condición de operación:

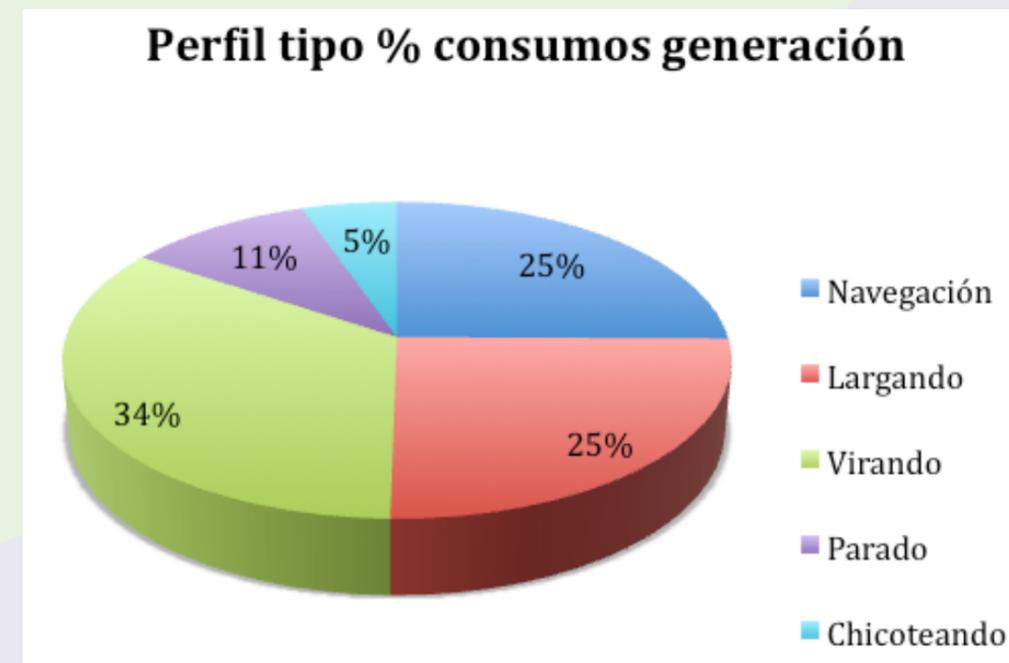


Fig. 139: Perfil tipo consumos totales generación según condición de operación.

La condición de buque virando es la que más peso tiene sobre el total de consumos, debido al porcentaje de tiempo dedicado a la virada. Le siguen las condiciones de ruta y largando, en el primer caso debido al tiempo que representa dicha condición sobre el total de la marea, y en el segundo caso, debido a la mayor potencia demandada durante la misma.

Las condiciones de buque parado y chicoteo son las que menos aportan al total de los consumos pues, aun no siendo las que generan menores consumos, son las que menor porcentaje de tiempo representan sobre el total de campaña.

5.6. PERFIL DE CONSUMOS

El perfil tipo de consumos totales, incluyendo los consumos producidos tanto en la propulsión como en la generación, es el siguiente:

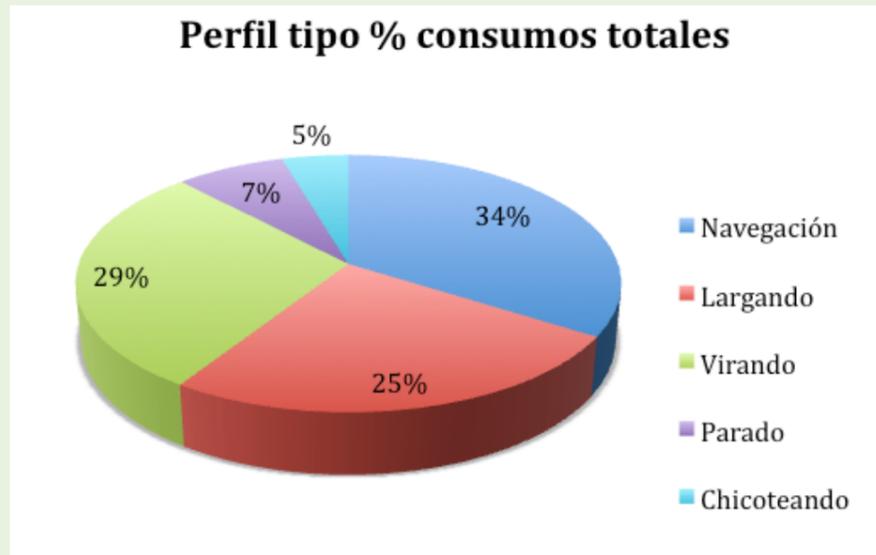


Fig. 140: Perfil tipo consumos totales según condición de operación.

Tras el cómputo total de estudios realizados se llega al siguiente reparto medio de consumos entre la generación y la propulsión:

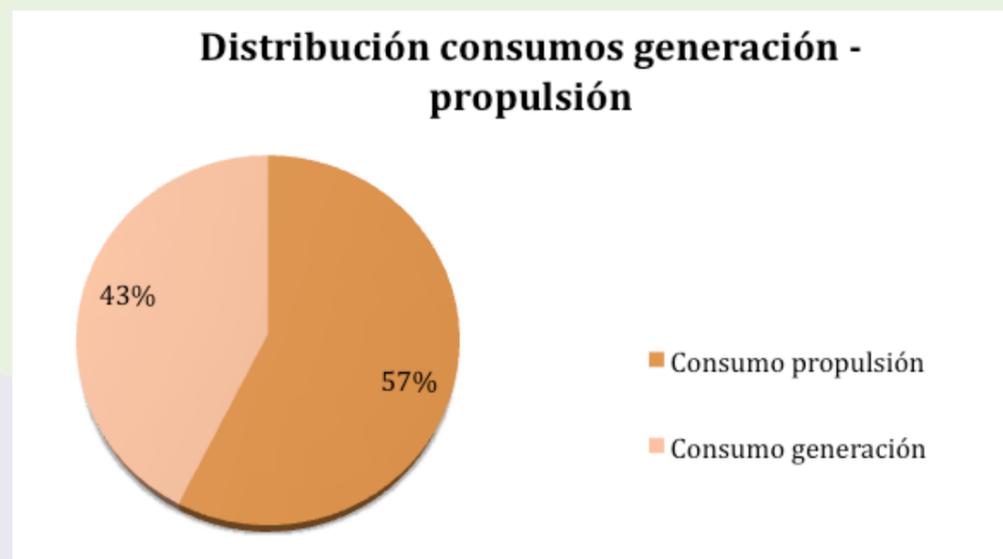


Fig. 141: Distribución de consumos entre propulsión y generación.

En cuanto al reparto de energías en kWh se llega a un reparto medio similar entre la propulsión y la generación:

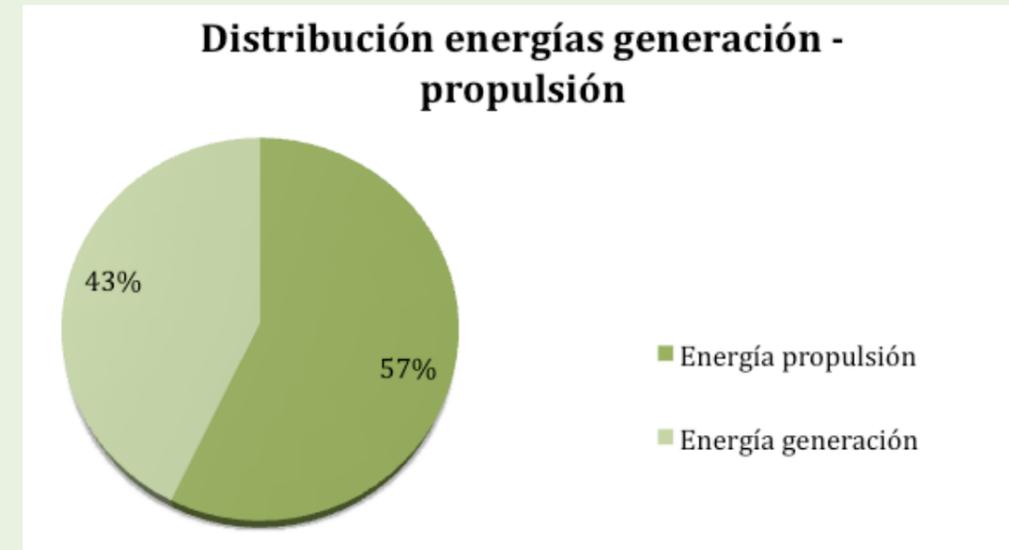


Fig. 142: Distribución de energía entre propulsión y generación.

5.7. ESTUDIO DE LOS CONSUMIDORES DE POTENCIA ELÉCTRICA

Gracias a los balances eléctricos realizados, podemos estimar la potencia que consume cada equipo según la condición de operación del buque. Los siguientes apartados nos muestran un estudio de dichas potencias, para los consumidores a los que se les harán propuestas de mejora, en busca de una reducción en los consumos de combustible de la planta generadora.

• Compresores de túneles de congelación, bodegas y gambuza

La planta frigorífica es uno de los principales consumidores eléctricos a bordo. La siguiente gráfica muestra el perfil tipo, obtenido mediante todos los buques estudiados, la potencia media consumida por el conjunto de los compresores de túneles, bodegas y gambuza en cada condición de operación, se representa, en tanto por ciento, sobre el total de la potencia demandada:

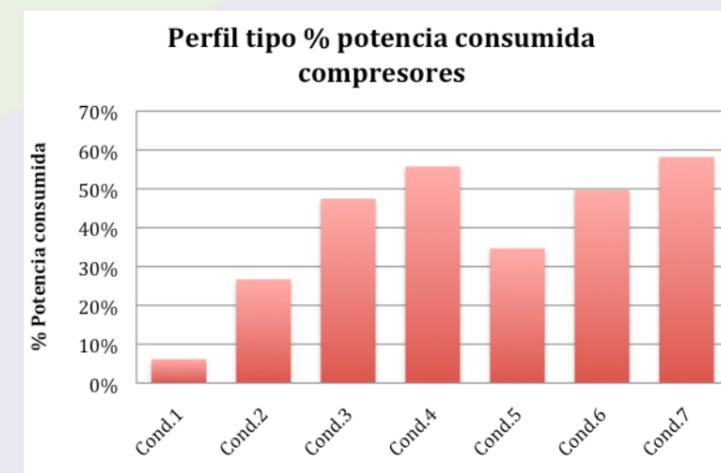


Fig. 143: Perfil tipo % potencia consumida por los compresores según condición de operación.

Como podemos observar, la potencia demandada por el grupo, llega a superar, en algunas condiciones de operación, el 55 % de la demanda eléctrica total. En algunos buques incluso llega a superar el 60 %.

La siguiente gráfica representa el perfil tipo del tiempo de uso de los compresores sobre el tiempo total de la campaña (exceptuando el compresor de la gambuza):

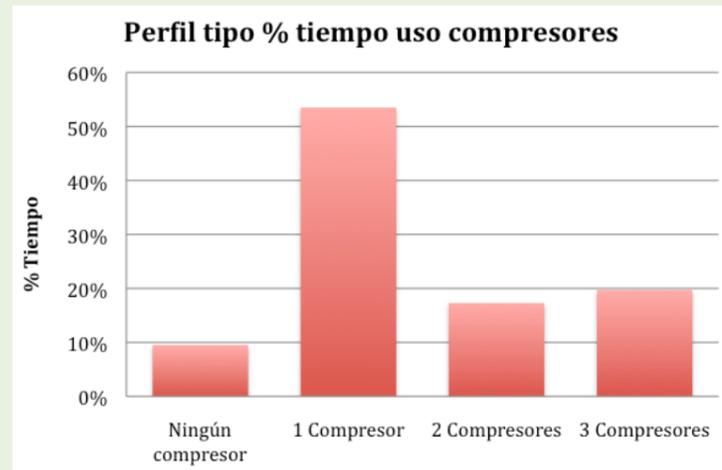


Fig. 144: Perfil tipo % tiempo funcionamiento compresores.

Como vemos casi el 40 % del tiempo de operación se corresponde con el uso continuado del compresor de la bodega más uno o dos de los compresores de túneles, según la pesca y necesidades de congelación. Alrededor de un 50 % del tiempo de operación se corresponde con el uso del compresor de bodega. Y sólo durante alrededor del 10 % del tiempo no se encuentra en funcionamiento ningún compresor.

Teniendo en cuenta el peso que el grupo de compresores tiene, tanto a nivel de potencia consumida, como a nivel de tiempo de operación, este grupo se identifica como uno de los puntos clave a atacar en la búsqueda de un descenso del consumo de combustible en generación.

• Tambor de palangre y lanzadera

Se estima, según el perfil operativo del buque, que se dedican alrededor de 16 - 17 horas diarias a labores de pesca, unas 10 - 12 horas a las maniobras de virado y unas 5 - 6 horas a las de largado.

La siguiente gráfica representa el perfil tipo del tiempo de uso del tambor de palangre (virada) y la lanzadera (largado), sobre el tiempo total de la campaña:

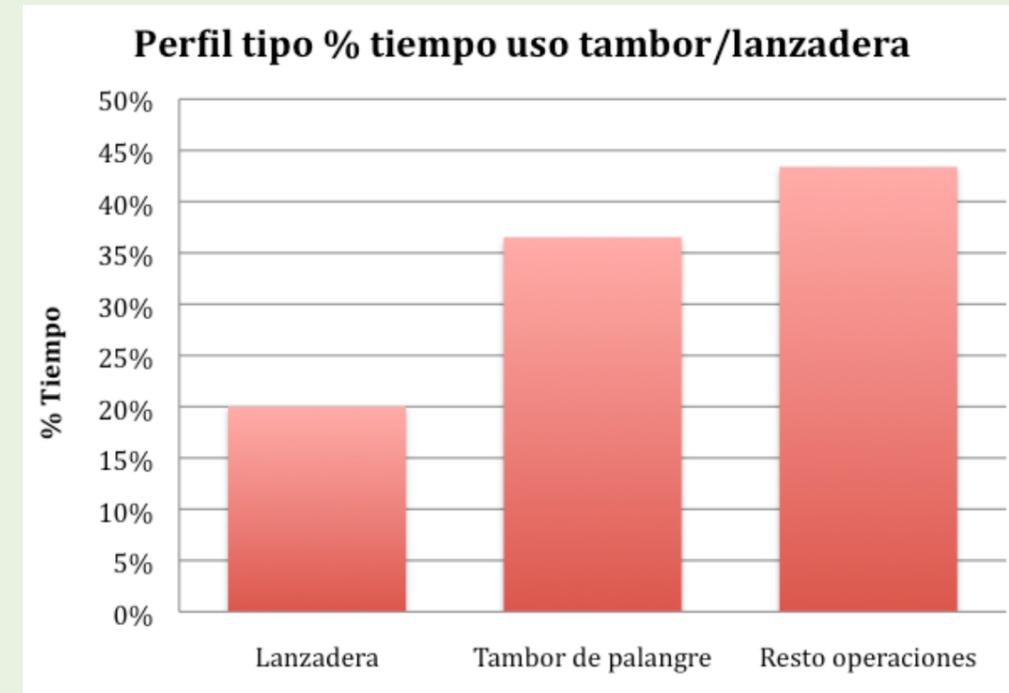


Fig. 145: Perfil tipo % tiempo funcionamiento tambor palangre / lanzadera.

La siguiente gráfica muestra el perfil tipo, de la potencia consumida por el conjunto en cada condición de operación, en tanto por ciento sobre el total de potencia demandada:



Fig. 146: Perfil tipo % potencia consumida por el tambor / lanzadera según condición de operación.

La condición 2 es la correspondiente a la maniobra de virado, alrededor del 37 % del tiempo de campaña. Durante la misma, se encuentra en funcionamiento el tambor de palangre. Durante las condiciones 3 y 4, correspondientes a la maniobra de largado, alrededor del 20 % del tiempo de campaña, se encuentra en funcionamiento la lanzadera.

Como vemos, durante la condición 2, el tambor de palangre demanda una potencia media de alrededor del 17 % de la potencia total demandada, llegando a consumir en algunos buques, hasta un 25 %. Por el peso que la maniobra de virada tiene sobre el tiempo total de operación del buque y la potencia consumida por la maquinaria de pesca durante la misma, este se plantea como otro punto importante de estudio en pos de una reducción del consumo de combustible.

Lógicamente para la obtención de la anterior gráfica no se tienen en cuenta los buques en los que la bomba de la central hidráulica es movida desde el motor principal.

• Cocina

De forma habitual, el uso de la cocina se produce durante un 50 - 60 % del día, según las costumbres a bordo; es típico realizar varios turnos de desayunos, comidas y cenas.

La siguiente gráfica muestra el perfil tipo, de la potencia consumida por la cocina, en cada condición de operación, como tanto por ciento sobre el total de potencia demandada:

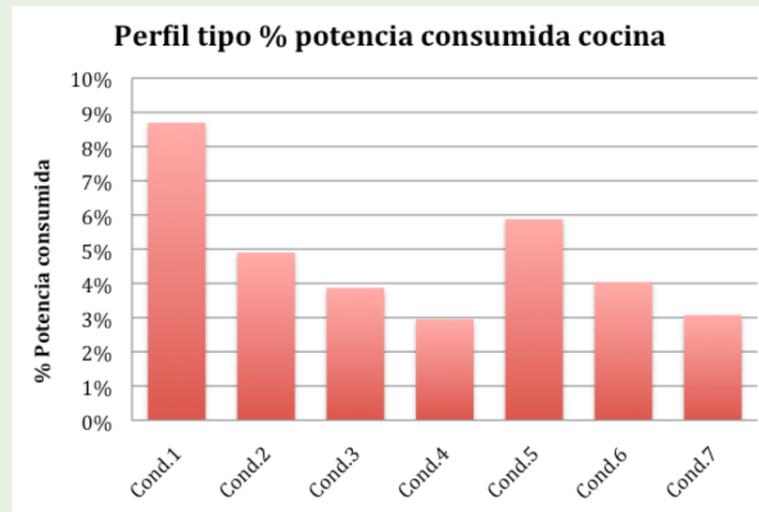


Fig. 147: Perfil tipo % potencia consumida por la cocina según condición de operación.

Las potencias medias consumidas por la cocina representan entre un 2 y un 9 % del total de potencia demandada a la planta, en algunos buques estos porcentajes aumentan hasta el 12-13 %. Aunque la potencia demandada no es excesivamente elevada, el hecho de que la demanda tenga lugar de una manera constante a lo largo de todas las condiciones de operación, hace que la cocina se plantee como otro punto a estudiar para reducir los consumos de combustible de la planta.

• Iluminación interior

Aunque las potencias consumidas a bordo por el conjunto de la iluminación interior no son muy elevadas, se trata de un grupo de consumidores que prácticamente siempre se encuentra en uso.

La siguiente gráfica muestra el perfil tipo, de la potencia consumida por este grupo, en cada condición de operación, como tanto por ciento sobre el total de potencia demandada:

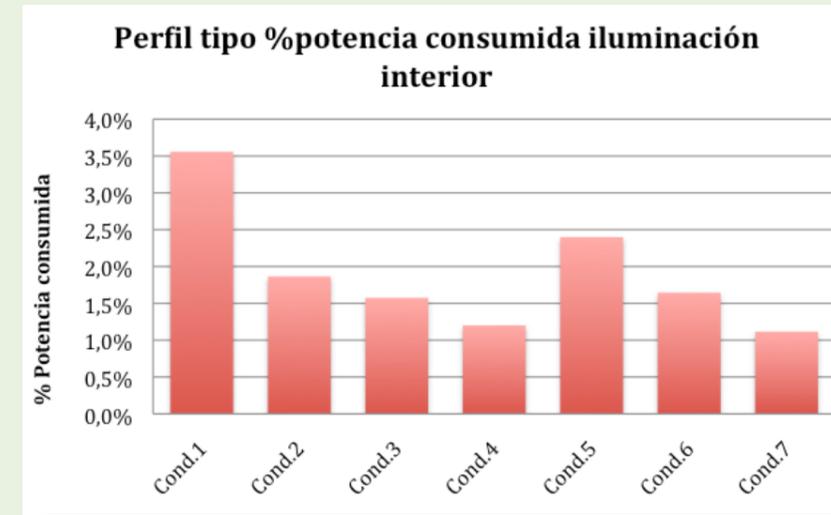


Fig. 148: Perfil tipo % potencia consumida por la iluminación interior según condición de operación.

De la misma manera que ocurría con la cocina, aunque la potencia demandada por el conjunto de la iluminación interior, no es excesivamente elevada, sí es constante a lo largo de la operación del buque, con lo que se plantea como otro punto a estudiar para reducir los consumos de combustible de la planta.

• Ventiladores de máquinas y túneles de congelación

La siguiente gráfica muestra el perfil tipo, de la potencia consumida por este grupo, en cada condición de operación, como tanto por ciento sobre el total de potencia demandada:

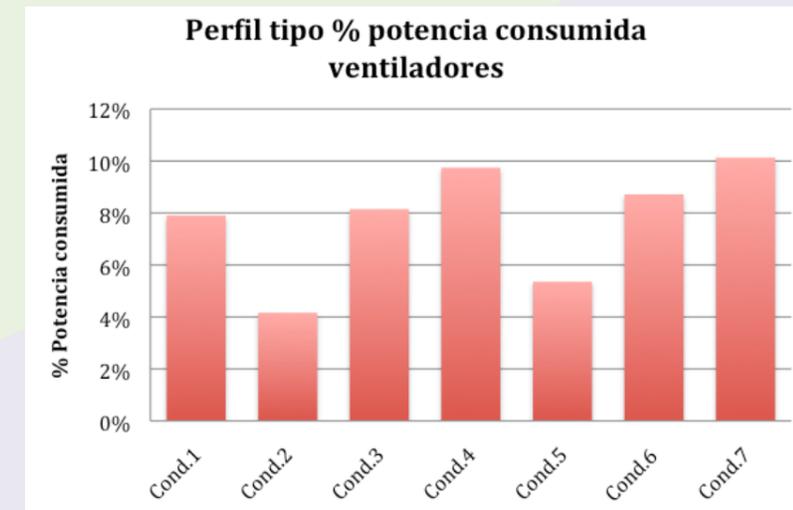


Fig. 149: Perfil tipo % potencia consumida por los ventiladores según condición de operación.

Puesto que los ventiladores de la sala de máquinas están en continuo funcionamiento, la diferencia entre las potencias demandadas por el conjunto, según la condición de operación, residirá en el número de túneles de congelación en funcionamiento. Por ello las mayores potencias se

dan en las condiciones 4 y 7 con los dos túneles activos, seguidas de las condiciones 3 y 6 con un túnel activo. Durante el resto de condiciones los túneles no se encuentran en funcionamiento.

Las potencias medias demandadas por el grupo van desde el 4 al 10 % de la potencia total



NOTA: Como ya se apuntó, los balances de los buques N° 7, 8 y 10, con tres túneles, tienen nueve condiciones de operación, y el del buque N° 4, con un solo túnel, tiene cinco condiciones. Por tanto, en las gráficas referentes a las potencias consumidas, se han obviado las dos nuevas condiciones de los tres primeros buques. Respecto al N°4, no se han tenido en cuenta en los cálculos las dos condiciones en las que no opera.

En la gráfica referente al tiempo de uso de los compresores no se ha tenido en cuenta el buque N°4, y para los buques N° 7, 8 y 10, la columna que indica "2 compresores" realmente indica "2 ó 3 compresores".

De otra manera los datos obtenidos quedarían desvirtuados.

5.8. PROPUESTAS DE MEJORA. VIABILIDAD ECONÓMICA

Se exponen a continuación las medidas de mejora propuestas para reducir los consumos de combustible a bordo, haciendo una división entre las medidas enfocadas a reducir el consumo de la planta propulsora (mejoras en la hidrodinámica y la propulsión), y las enfocadas a reducir el consumo de la planta generadora (mejoras en la generación y consumidores a bordo).

5.8.1. Hidrodinámica y propulsión

Una vez realizado el estudio hidrodinámico, y obtenidos el perfil operativo del buque y el de la planta propulsora, se procede a exponer las medidas planteadas para mejorar la eficiencia energética dentro de la hidrodinámica y la propulsión del buque.

Las reducciones alcanzadas en el consumo de combustible, se refieren en todos los casos al consumo total de la planta propulsora del buque. Puesto que las medidas son aplicables, en la mayoría de los casos, únicamente a las condiciones de ruta y largado, las reducciones alcanzadas dependerán en gran medida del perfil operativo del buque en cuestión, aumentando cuanto mayor sea el tiempo dedicado por el buque a dichas condiciones.

Finalmente se estudia la viabilidad económica de las mismas, mediante el cálculo de los periodos de amortización necesarios para las inversiones requeridas. Dichos periodos serán menores cuanto mayores sean la reducción alcanzada y el gasto anual de combustible, y aumentarán con la inversión necesaria.

En el cálculo de dichos periodos no se tiene en cuenta el precio de la varada del buque, pues se considera que se aprovecha una de las varadas previstas para el mismo, y se considera un precio del combustible de 0,65€/litro.

• Modificación formas de proa, nuevo bulbo

En este tipo de buques la resistencia por formación de olas representa un gran porcentaje de la resistencia total, al navegar el buque a velocidades considerables. Esta resistencia se debe al sistema de olas generado por el buque en su avance.

En buques relativamente rápidos, el bulbo de proa puede reducir considerablemente dicha resistencia, creando un sistema de olas, cuya interferencia con el sistema de olas de proa reduzca el tren de olas generado.

A parte de la reducción de la resistencia por formación de olas, el bulbo de proa conlleva otras mejoras asociadas, como pueden ser la reducción de los pantocazos, o la mejora del flujo que llega a la hélice.

Sin embargo no hay que olvidar que el hecho de añadir un bulbo aumenta la superficie mojada del buque, con el consiguiente aumento de la resistencia total al avance. Por tanto, es necesario realizar un proyecto adecuado del mismo, para obtener las mejoras esperadas.

Siguiendo esta filosofía, se realizan cambios en la geometría de proa, a fin de ensayar diversas geometrías de bulbo y comparar su comportamiento, con los resultados obtenidos para la carena original. Al comparar la resistencia total al avance entre ambas situaciones, inicial y final, podremos valorar las mejoras obtenidas, pues dicha resistencia engloba tanto la disminución de la resistencia por formación de olas, como el posible aumento de la resistencia viscosa, debido a la mayor superficie mojada del buque.

En la mayoría de los casos las formas de partida ya incluyen bulbo de proa, por lo que lo que se hace es un rediseño del mismo, en otros casos, el buque no tenía bulbo, con lo cual se le añade.

El diseño del bulbo se optimiza para las velocidades de navegación y largado, condiciones en las que las mejoras son efectivas, sumando además en conjunto alrededor de la mitad del tiempo de operación del buque.

A continuación se presenta un ejemplo de modificación de las formas de proa de un buque cuya carena original ya poseía bulbo:

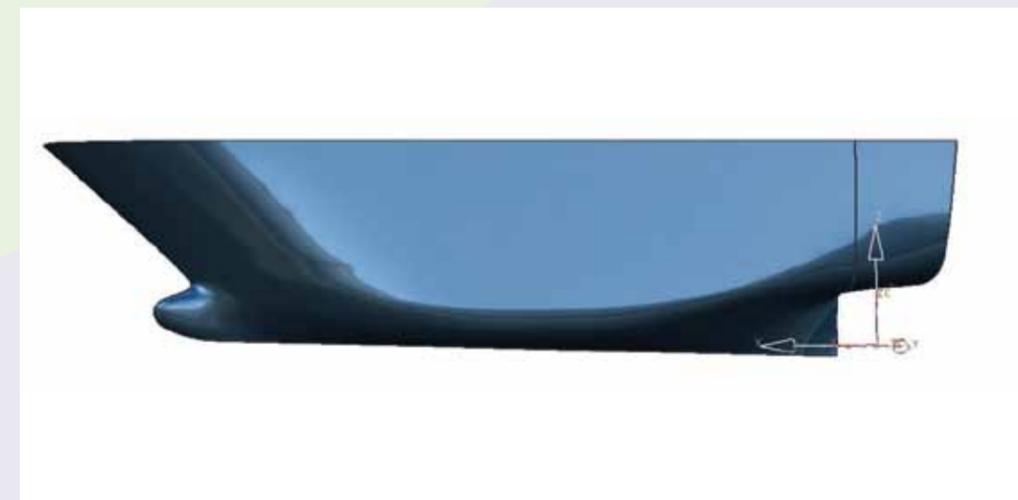


Fig. 150: Ejemplo carena original.



Fig. 151: Ejemplo carena con propuesta de bulbo 1.

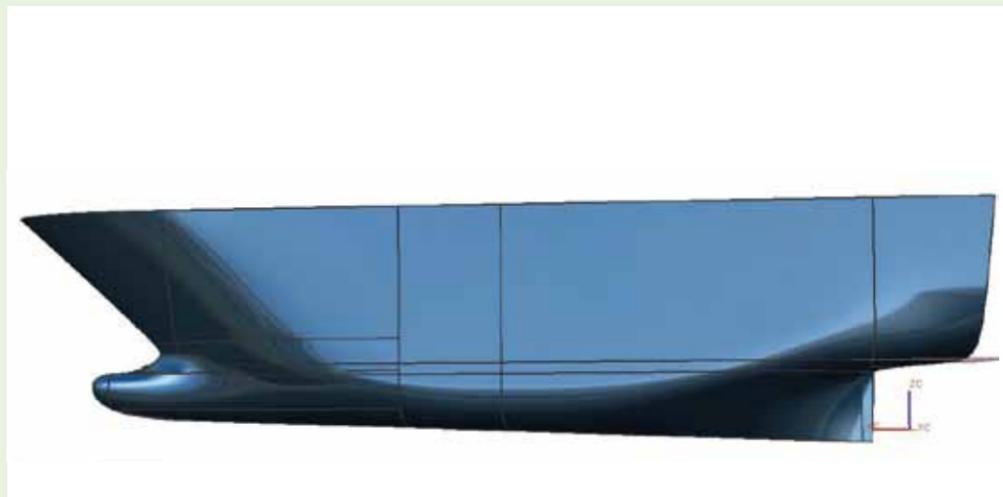


Fig. 152: Ejemplo carena con propuesta de bulbo 2.

Las geometrías generadas se ensayan además para diferentes condiciones de trimado, para comprobar el efecto conjunto de ambos factores.

Una vez ensayadas las diferentes geometrías se procede a la comparación de resultados. La siguiente gráfica nos muestra una comparación de la resistencia total al avance, a partir del coeficiente total de resistencia, para un estudio que incluye dos modificaciones de formas y dos modificaciones de trimados:

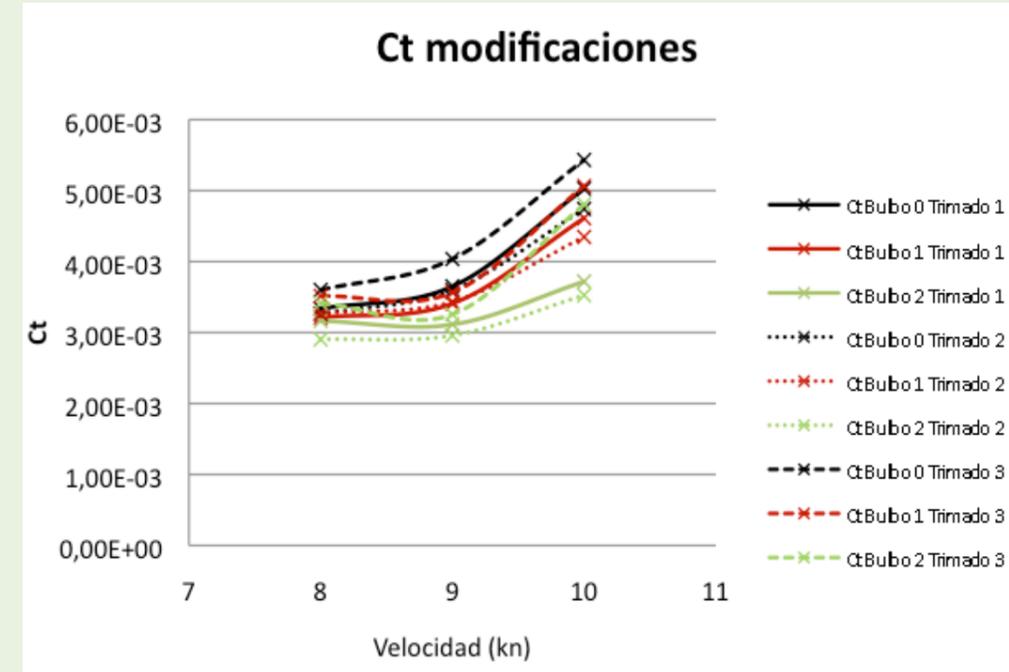


Fig. 153: Ejemplo comparación Ct geometría original, 0, y bulbos y trimados propuestos, 1 y 2.

Comparando la resistencia total al avance en las situaciones inicial y final, se obtiene el porcentaje de mejora alcanzado en cada situación ensayada, y se selecciona la geometría que mayor porcentaje de mejora produzca.

Mediante la aplicación del correspondiente margen de mar, y el correspondiente rendimiento propulsivo, se obtiene la mejora producida en términos de potencias de propulsión, y de aquí se calculan los ahorros de combustible generados.

Los ahorros varían entre los diferentes buques, dependiendo de las formas de partida, del perfil de tiempos de operación del buque, y de las velocidades a las que realiza las operaciones de navegación y largado. Las mejoras obtenidas llegan hasta el 18 % de reducción de la resistencia durante las operaciones de navegación y largado.

Los ahorros de combustible generados se sitúan, salvo excepciones, entre el 6 y el 11 % de ahorro del total de combustible consumido en propulsión.

La inversión necesaria para la construcción del nuevo bulbo, se encuentra, dependiendo del buque, entre 110.000 y 130.000 € con unos periodos de amortización, salvo excepciones, de entre cuatro y diez años.

La siguiente gráfica nos muestra, para los buques estudiados, los periodos de amortización así como los porcentajes de ahorro alcanzables mediante la aplicación de esta medida:

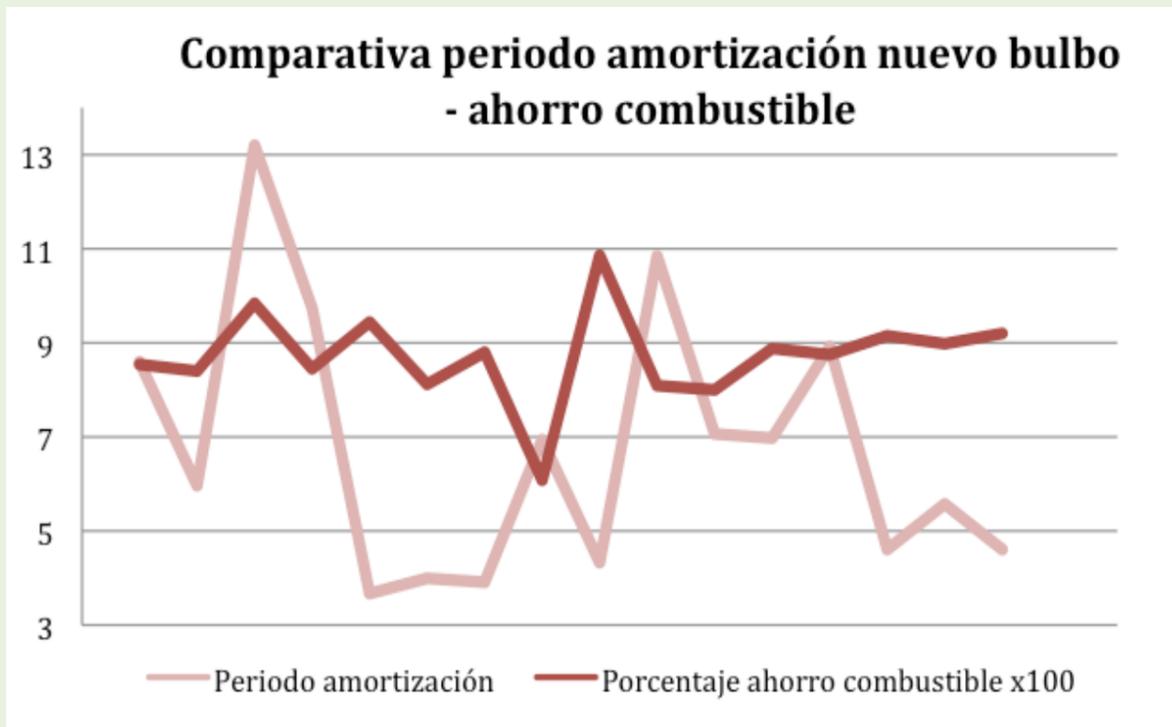


Fig. 154: Comparativa periodo amortización (años) nuevo bulbo–porcentaje ahorro combustible x 100.

A pesar de los elevados periodos de amortización producidos en algunos casos, los porcentajes de ahorro obtenidos son muy altos, por tanto si se espera una vida del buque relativamente larga, esta medida es muy recomendable, tanto desde el punto de vista energético, como desde el punto de vista económico.

• Realineación de quillas de balance

Como ya se adelantó, las quillas de balance suelen posicionarse sin un estudio previo de su situación respecto a las líneas de corriente, lo que genera una resistencia adicional, evitable con una realineación de las mismas, de manera que sigan lo más posible las líneas de flujo.

Si bien el porcentaje de resistencia debido a esta desalineación, es de un orden de magnitud pequeño con respecto al total de resistencia al avance del buque, la corrección de esta desviación requiere una obra sencilla con un coste reducido, en comparación con otras medidas de mejora, por lo que conviene estudiarse y tenerse en cuenta.

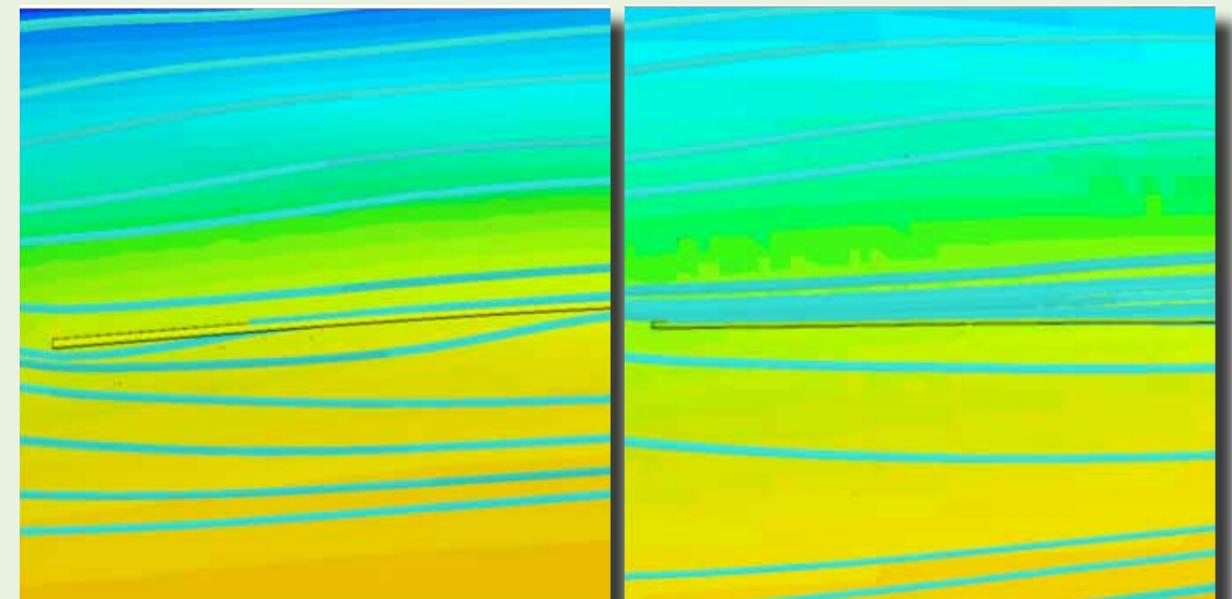


Fig. 155: Ejemplo interacción quilla – líneas de corriente en su posición inicial y tras su alineación con el flujo.

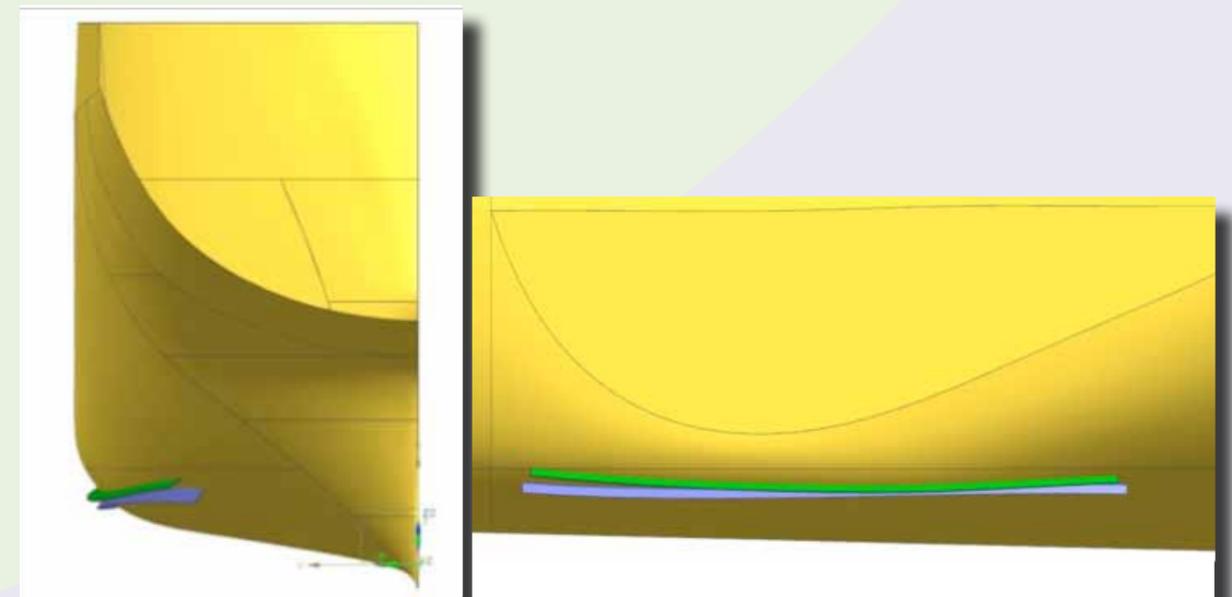


Fig. 156: Ejemplo de una quilla en su posición inicial y tras su alineación con el flujo.

Las mejoras alcanzadas, aplicables en las condiciones de navegación y largado, se encuentran entre el 0,5 y el 3 % dependiendo de la configuración de partida, con una inversión en la reparación de alrededor de 9.000 - 10.000 €.

Estimando una mejora del 2 %, se producen unos ahorros de combustible, que se encuentran, dependiendo del buque, entre el 1 y el 1,5 %, con unos periodos de recuperación de entre dos y siete años.

Si bien los ahorros producidos no son muy altos, la inversión es relativamente baja, y los periodos de amortización no son muy elevados.

La siguiente gráfica nos muestra, para los buques en estudio, los periodos de amortización así como los porcentajes de ahorro alcanzables mediante la aplicación de esta medida:

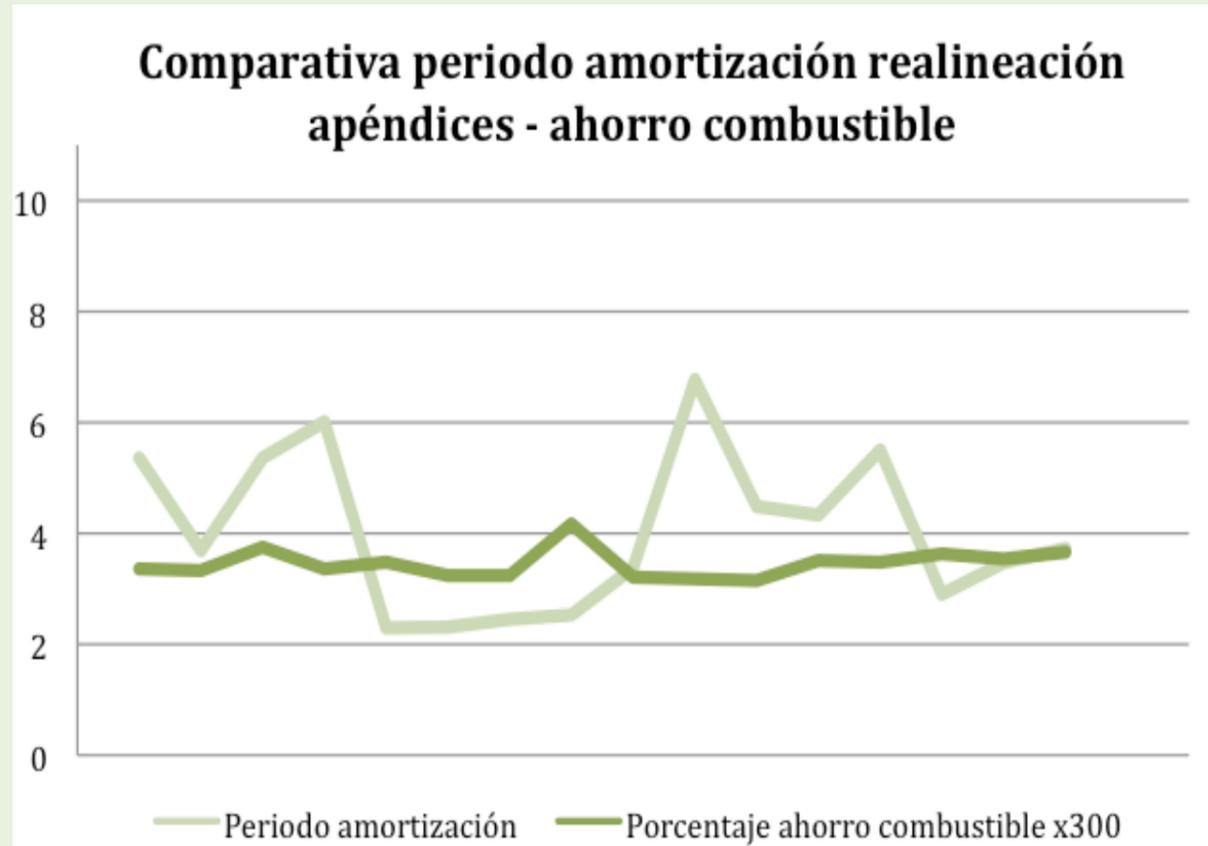


Fig. 157: Comparativa periodo amortización (años) realineación de apéndices – porcentaje ahorro combustible x 300.

• Pintura de la obra viva

La rugosidad del casco afecta directamente a una de las componentes de la resistencia al avance del buque, la resistencia de fricción, que aumenta al aumentar dicha rugosidad.

Cualquier medida orientada a su disminución repercutirá en unos menores requerimientos de potencia de propulsión para una misma velocidad, o lo que es lo mismo, en una mayor velocidad alcanzada para la misma potencia entregada.

La pintura de la obra viva del buque tiene una influencia directa sobre la rugosidad del casco, pues diferentes pinturas adquieren diferentes grados de suciedad, y de incrustaciones.

A continuación se muestra un gráfico que indica, para diferentes tipos de pinturas, el porcentaje de aumento de la potencia de propulsión requerida, debido al aumento de la rugosidad del casco con el paso del tiempo:

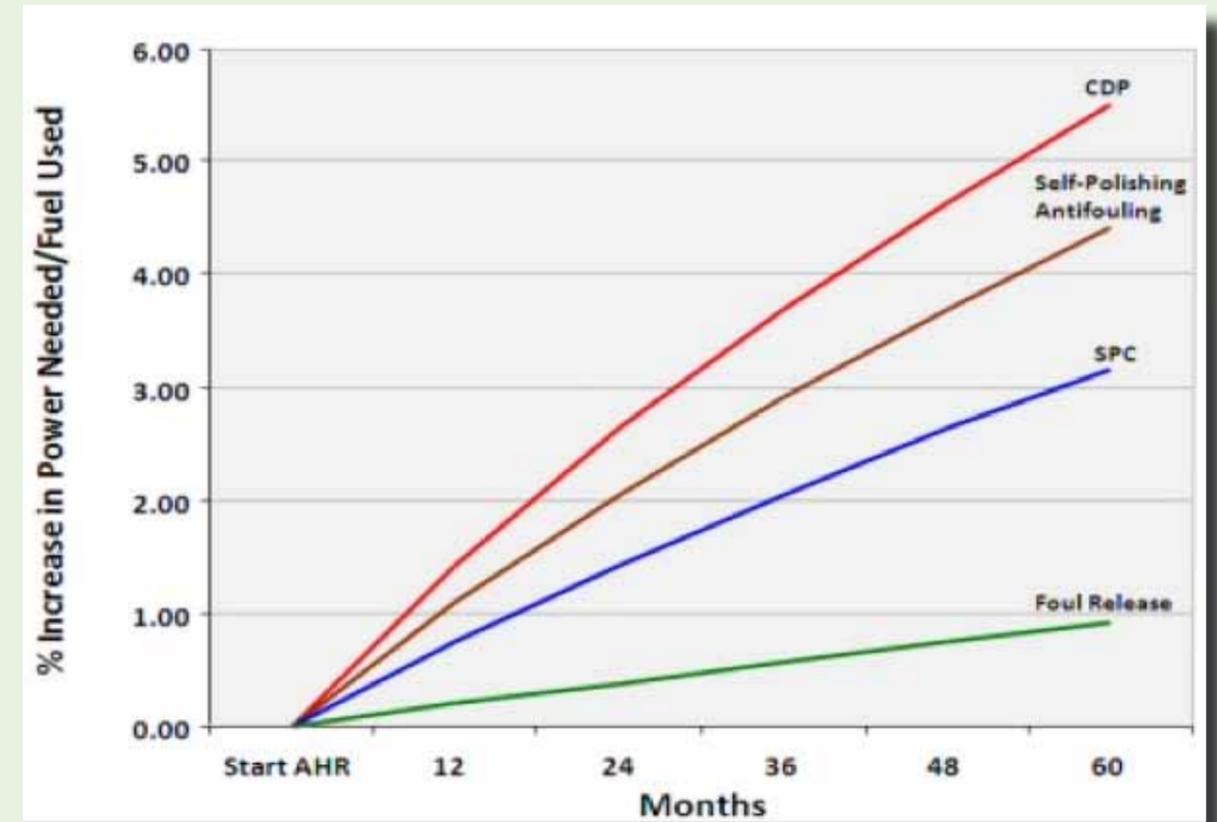


Fig. 158: Porcentaje de aumento de la potencia propulsión - tiempo.

Esta gráfica nos da una idea de la importancia de la selección de una pintura adecuada, pues las diferencias entre los aumentos de requerimientos de potencia a lo largo del tiempo llegan a alcanzar el 2 %, después de dos años, y el 3 %, después de tres años, intervalos de tiempo comunes para la renovación de las pinturas del casco.



Fig. 159: Estado típico de la obra viva de un buque.

A este efecto, las actuales pinturas de Fluoropolímeros se encuentran en el estado del arte del sector. Estudios contrastados demuestran que contribuyen a una reducción de la componente de fricción de la resistencia al avance, que redunda en una reducción de consumos del motor principal que puede llegar hasta un 5 %.

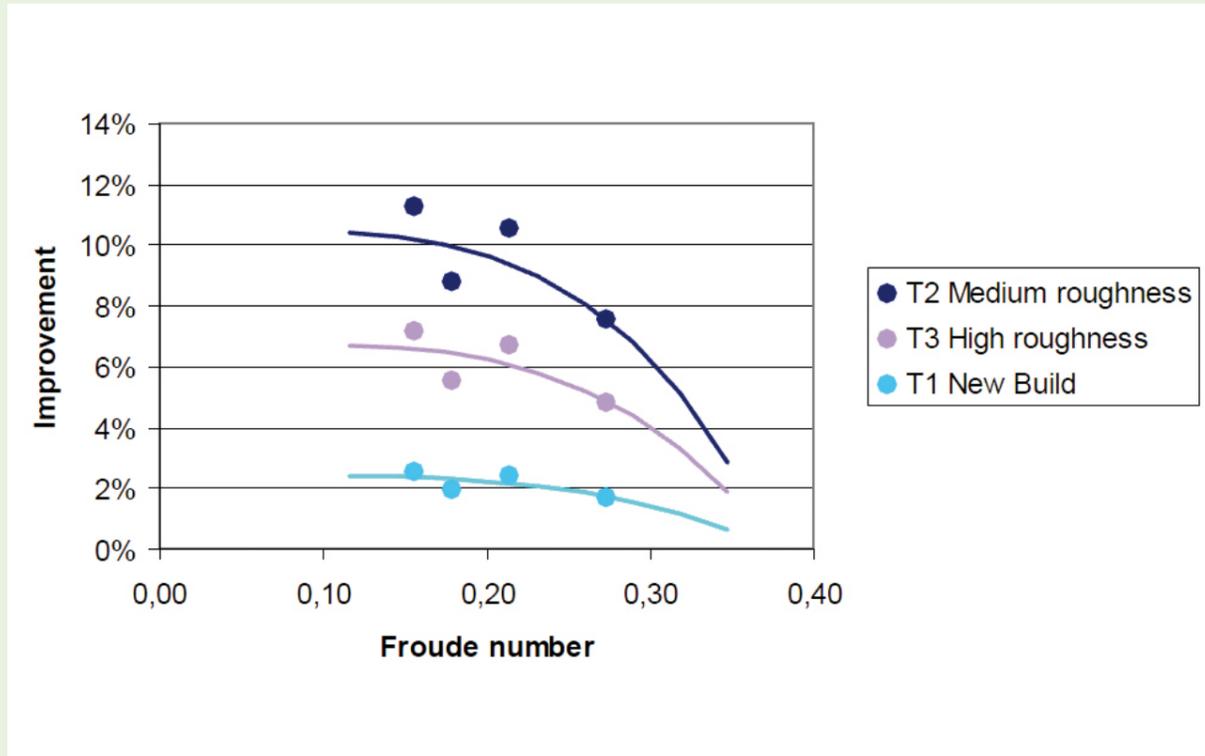


Fig. 160: % Mejora resistencia - Fn al aplicar pinturas de Fluoropolímero.

Los ahorros de combustible producidos para los buques en estudio, teniendo en cuenta las situaciones de navegación y largado, se encuentran entre el 2 y el 4,5 %.

Las inversiones necesarias son directamente proporcionales a la superficie a pintar, encontrándose entre 10.000 y 40.000 € para la franja de superficies mojadas de los buques en estudio.

Para el cálculo de los correspondientes periodos de amortización hay que tener en cuenta no el precio de estas pinturas, si no la diferencia de éste con el de las pinturas tradicionales, puesto que en cualquiera de los casos, se procederá a la renovación de las pinturas del casco, de esta manera, los periodos de amortización van desde algo menos de un año hasta año y medio.

Otro aspecto destacado y que no se considera en el cálculo del ahorro económico, es que estas pinturas requieren un menor mantenimiento, con lo que si otras circunstancias lo permitieran, se aumentaría el tiempo entre varadas para pintado de la obra viva.

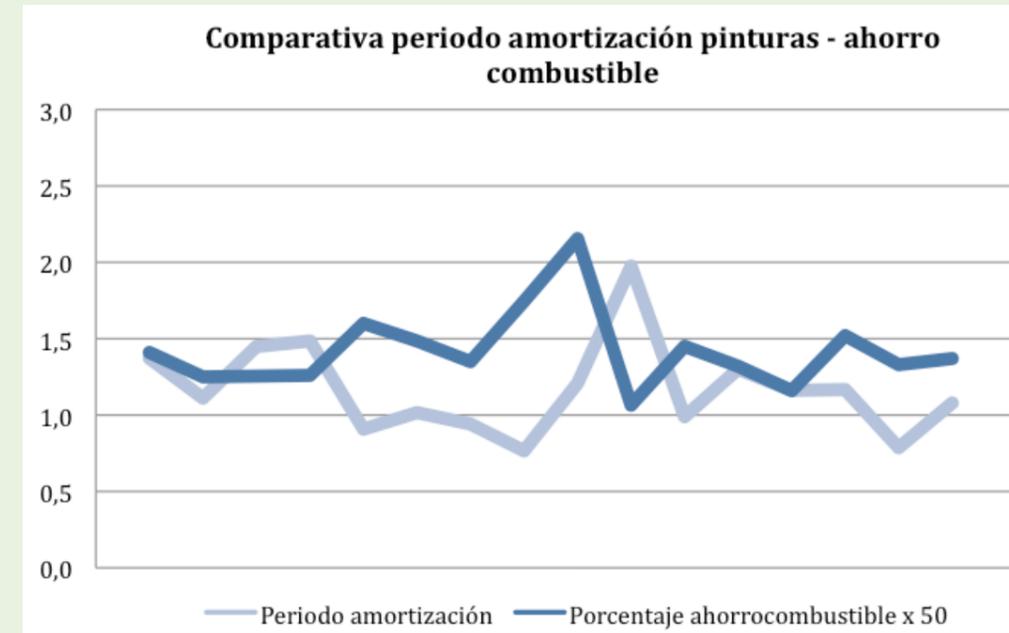


Fig. 161: Comparativa periodo amortización (años) pinturas de Fluoropolímeros - porcentaje ahorro combustible x 50.

• Pulido y pintado de la hélice

En cuanto a la hélice, su condición superficial también afecta a su funcionamiento, pudiendo verse reducido significativamente su rendimiento con la rugosidad de su superficie.



Fig. 162: Estado típico de la superficie de una hélice durante una varada.

Realizando un pulido de la superficie de la misma podemos obtener ahorros de alrededor del 1 % de combustible en propulsión, en las condiciones de ruta y largado, lo que genera unos ahorros de combustible totales de entre un 0,5 y un 0,7 %.

La inversión requerida para llevar a cabo esta medida es muy baja, alrededor de los 1.000 €, produciéndose periodos de amortización de la inversión de entre medio año y dos años.

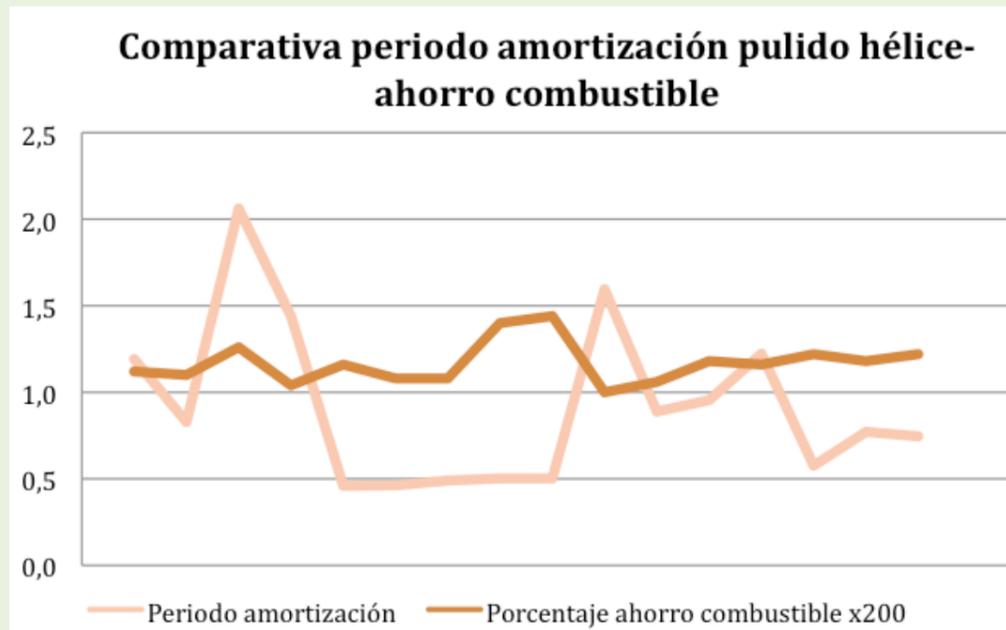


Fig. 163: Comparativa periodo amortización (años) pulido hélice- porcentaje ahorro combustible x 200.

• Rediseño de la hélice

Hoy en día las herramientas de cálculo para el diseño de la hélice han evolucionado en gran medida, en comparación con la tecnología usada hace tan sólo 20 años, lo que permite el diseño de una hélice mejor adaptada, tanto a la estela, como a las condiciones de servicio del buque, lo que puede redundar en un importante ahorro energético.

Se procede al rediseño de las nuevas geometrías y condiciones de trabajo del propulsor, y al estudio de las mismas interaccionando con el casco. De esta forma, podemos obtener los rendimientos de las distintas soluciones y descartar los peores. Los casos elegidos son filtrados de esta forma, y posteriormente las nuevas geometrías de los propulsores son generadas y evaluadas, para finalmente elegir la más eficiente.

Se pueden alcanzar mejoras de hasta el 5 % de reducción de la potencia de propulsión requerida durante las condiciones de ruta y largado. Los ahorros totales de combustible alcanzados se encuentran, según el buque, entre un 2,5 y un 3,5 %.

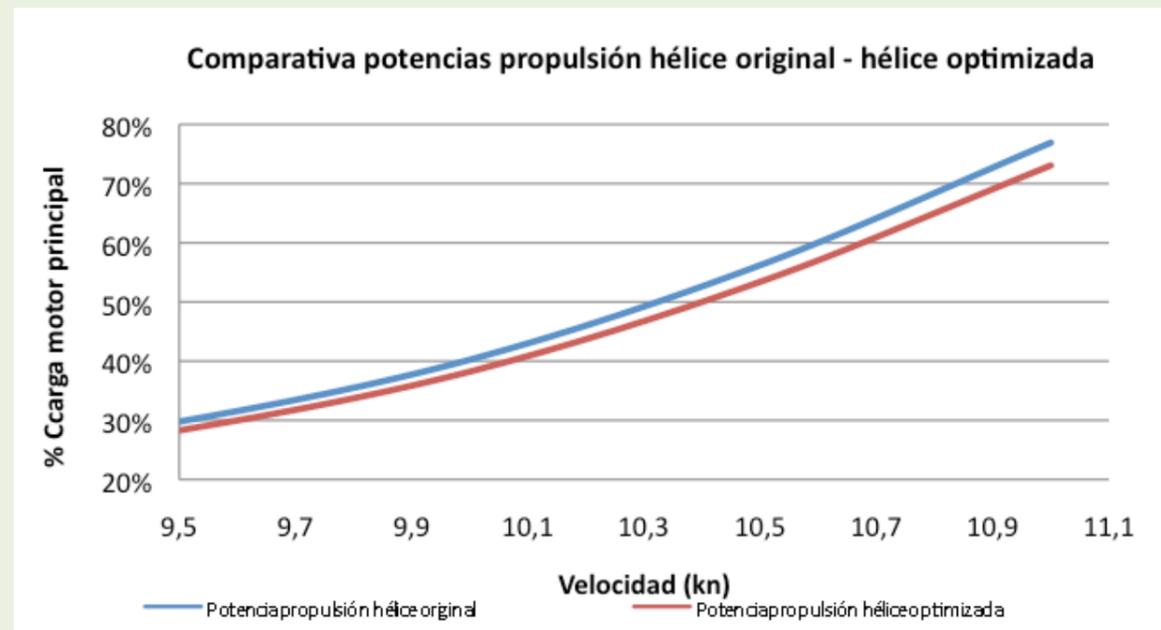


Fig. 164: Comparativa % carga motor principal hélice original y hélice optimizada, para una mejora del 5%.

Las inversiones necesarias, dependen principalmente del diámetro y peso de la nueva hélice, lo que determinará el molde necesario para su fabricación, así como la cantidad de material. En este caso dichas inversiones se encuentran entre 10.000 y 25.000 €, valores no muy elevados en relación a las mejoras obtenidas, de esta manera los periodos de amortización se encuentran entre un año y cinco años.

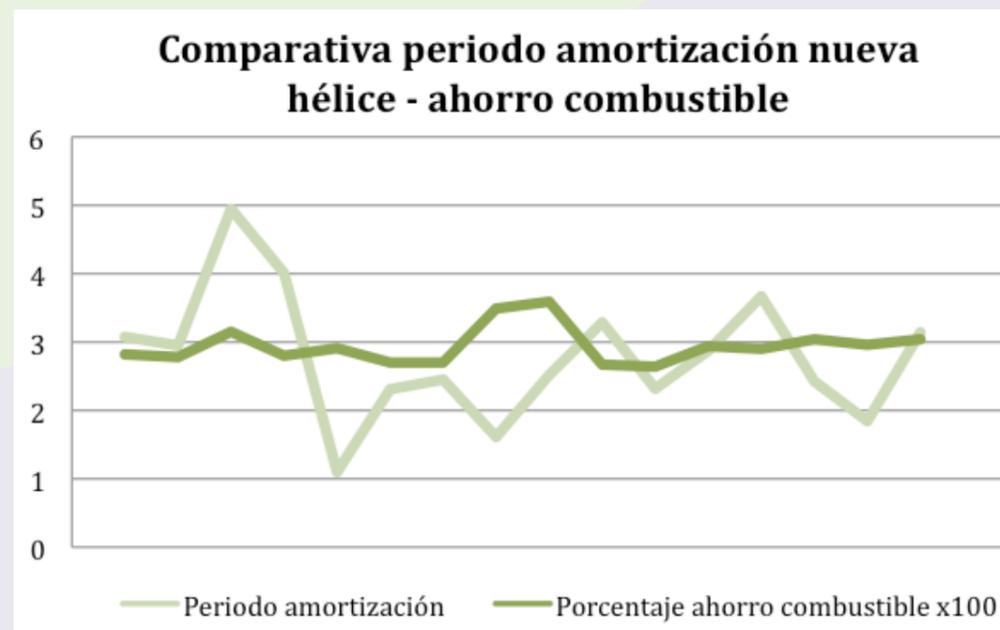


Fig. 165: Comparativa periodo amortización (años) nueva hélice- porcentaje ahorro combustible x 100.

• **Rediseño del timón**

El proceso de diseño "a medida" del timón, debe ir acompañado de un análisis hidrodinámico de la carena y de la hélice, pues éstas perturban el campo fluido que llega al mismo. Los principales parámetros a modificar son las longitudes cordales, los espesores, y la relación de aspecto del timón.

La utilización de timones con geometrías asimétricas, hace que al modificar los perfiles, estos se orienten de forma que los ángulos de ataque en cada sección de la pala se orienten, en la medida de lo posible, a los vectores de entrada del flujo procedente de la hélice.

Las principales mejoras que proporcionan este tipo de timones son, una mejora del rendimiento propulsivo del conjunto hélice-timón, disminuyendo la potencia de propulsión necesaria para alcanzar una velocidad dada, y una mejora de la maniobrabilidad, aumentando la fuerza transversal.

Además se reducen las vibraciones transmitidas al casco por el timón y se minimizan los problemas de cavitación en el mismo.

Además se prueba con timones sin bulbo y con bulbo. En todos los casos con una geometría del timón asimétrica, para adaptarlo al campo de velocidades asimétrico que abandona la hélice. Al incluir el bulbo se opta también por realizar un rediseño del capuchón que enlaza el flujo que abandona la hélice con el flujo que llega al timón.

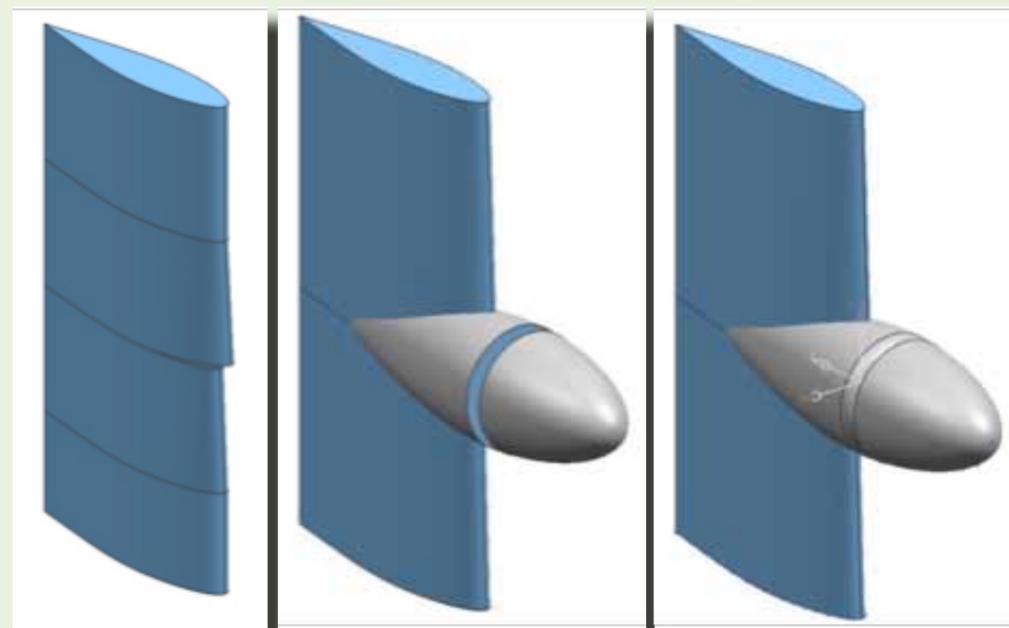


Fig. 166: Distintas geometrías de timones asimétricos, con y sin bulbo.

Se ensayan las nuevas geometrías de timón, en conjunto con hélice y carena:

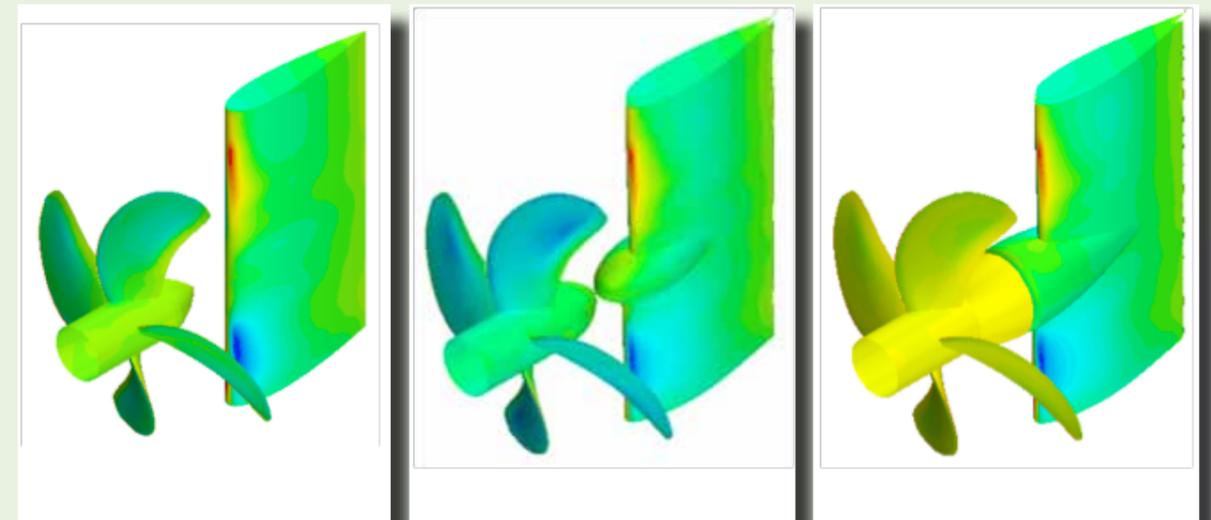


Fig. 167: Ensayo diferentes geometrías de timones asimétricos.

Las mejoras obtenidas llegan a alcanzar valores del 5 %, durante las condiciones de ruta y largado. Alcanzándose unos ahorros de combustible de entre el 2,5 y el 3,5 %. Las inversiones necesarias, se encuentran, para el rango de buques considerado, entre los 20.000 y los 50.000 €, generando unos periodos de amortización, que se encuentran, en general, entre tres y seis años.

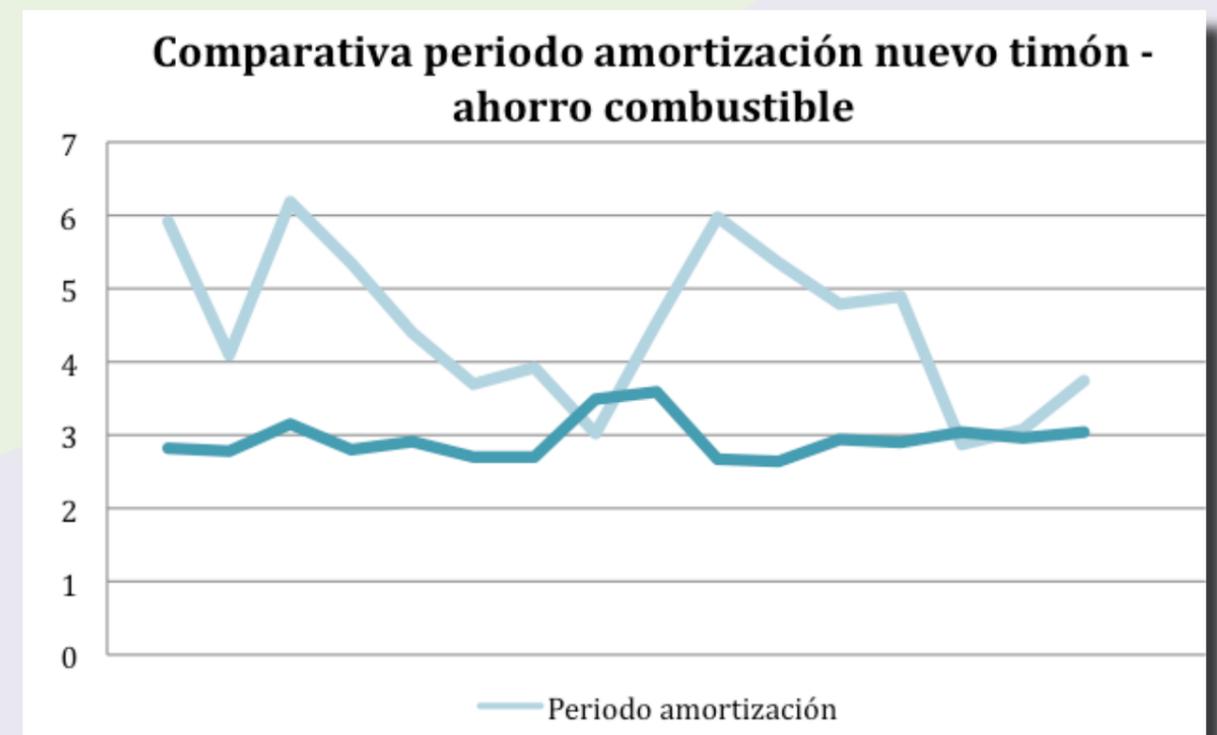


Fig. 168: Comparativa periodo amortización (años) nuevo timón – porcentaje ahorro combustible x 100.

• **Optimización de rutas**

Las condiciones meteorológicas (viento, mar, corrientes, etc.) influyen directamente sobre los requerimientos de potencia de propulsión, pudiendo aumentarlos considerablemente.

Por ello, la optimización de rutas es una ayuda cada vez más utilizada en la flota española. La aplicación de esta medida requiere la instalación de un PC a bordo, así como la utilización de los sistemas de comunicaciones del buque. Un equipo de asistencia analiza las condiciones meteorológicas y diseña la ruta óptima, que es visualizada a bordo por la tripulación, en el equipo instalado.

Los ahorros actuales que se manejan en buques de la flota gallega se estiman del orden de hasta el 8 % en ruta, lo que genera ahorros totales de combustible de entre un 3 y un 4,5 %.

El coste de este sistema es mínimo, se trata de un pago por servicio, en función del ahorro alcanzado. Esto, unido al significativo ahorro producido, lo convierte en una alternativa muy interesante.

La siguiente gráfica muestra los ahorros alcanzables, en los buques en estudio, mediante la utilización del optimizador de rutas:

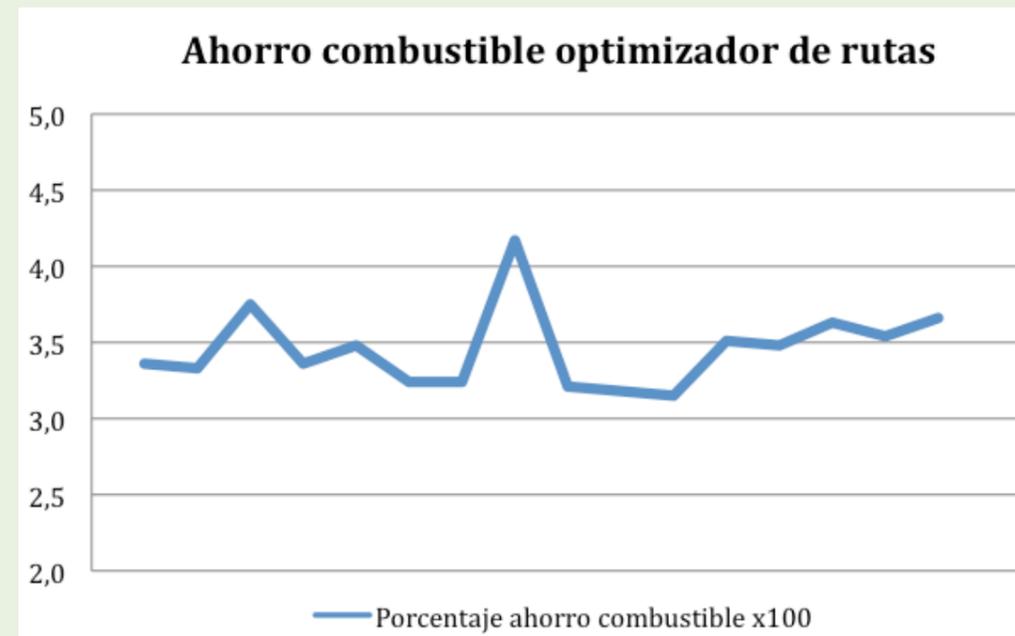


Fig. 169: Porcentaje ahorro combustible (x100) mediante optimizador de rutas.

• **Estudio de las velocidades de navegación**

Teniendo en cuenta que la condición de ruta ocupa de media, en torno a un 29% de la duración total de la marea, siendo además a la que mayor velocidad se opera, y que la potencia de propulsión que necesita el buque crece con la velocidad, se plantea la posibilidad de una reducción en la velocidad de navegación de los buques.

La velocidad de ruta es un factor muy importante en la operación de este tipo de buques, durante la ruta no se realizan labores de pesca, con lo que en principio lo ideal sería llegar a puerto cuanto antes, sin embargo, al crecer el consumo del principal con la velocidad del buque, puede resultar rentable una disminución de la misma.

Es por tanto conveniente realizar un estudio para comprobar si una reducción en la velocidad de ruta, con la consecuente reducción en el consumo de combustible, compensa económicamente el aumento del tiempo de la misma.

Se prueba a disminuir la velocidad de ruta medio nudo y un nudo, y se comprueba que los ahorros de combustible generados por cada día más de marea, son menores con la disminución de un nudo, al alejarnos más del punto óptimo de funcionamiento del motor principal, a pesar de ser mayores los ahorros totales. De esta manera la primera opción resulta más rentable. Según el buque los ahorros obtenidos se encuentran entre 1.000 y 6.500 litros por día de aumento de la duración de la campaña, teniendo en cuenta tanto los ahorros generados en propulsión, como los consiguientes aumentos de consumo producidos en la generación.

Se alcanzan unos ahorros de entre el 3 y el 13 % de combustible en propulsión. Sin embargo, en este caso sería más lógico dar el ahorro sobre el consumo anual de combustible, para tener en cuenta así también el aumento del consumo en generación, y por tanto reflejar el ahorro real. De esta manera los ahorros alcanzados se encuentran entre el 1 y el 6 %, aproximadamente, del consumo anual total.

Sin embargo sería necesario estudiar los gastos diarios del buque (referentes principalmente a la tripulación) y evaluar si el ahorro de combustible generado por la disminución de la velocidad de ruta, compensa el coste del gasto extra que suponen estos días de navegación, y sobre todo si el ahorro producido compensa el aplazamiento de la siguiente marea.

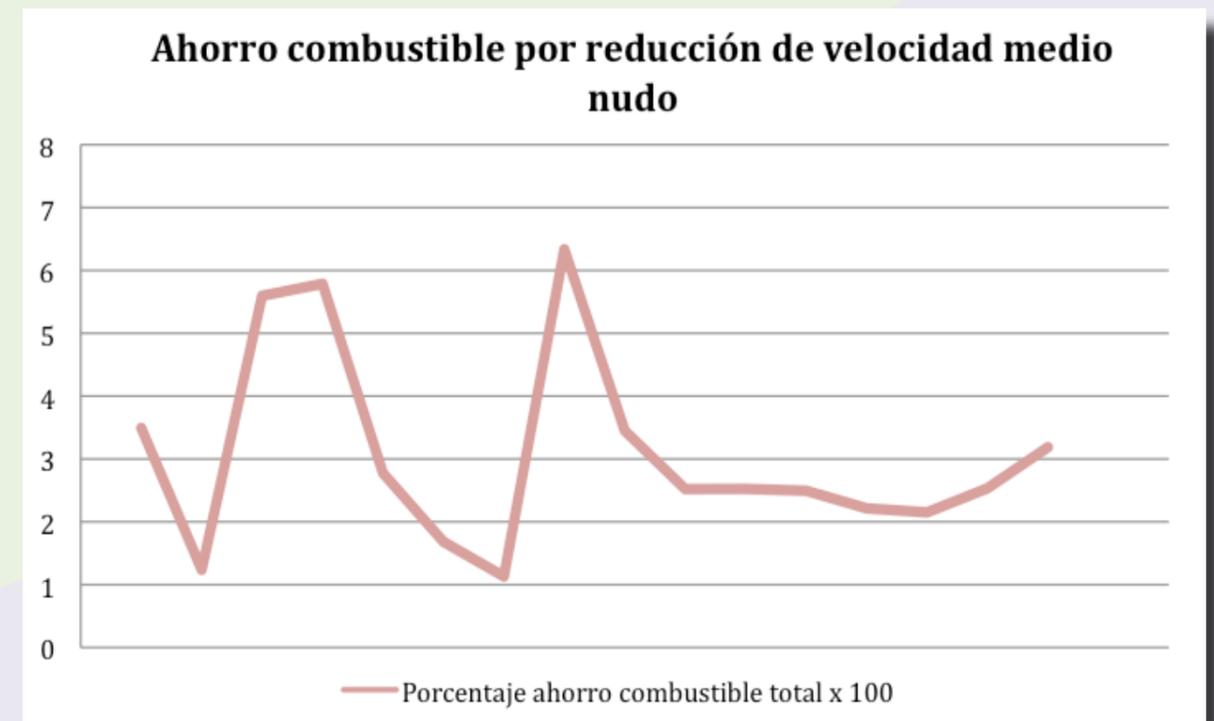


Fig. 170: Porcentaje ahorro combustible total (x100) mediante reducción de un nudo en la velocidad de ruta.

- Corrientes impresas

Para evitar la corrosión marina que se produciría sobre la superficie del casco, debido al contacto continuo con el agua salada, se utilizan los ánodos de sacrificio, que se colocan a lo largo de la superficie mojada del buque, de manera que se consigue que la estructura funcione como un cátodo, mientras que los ánodos son los que sufren la corrosión.



Fig.171 Anodos de sacrificio tradicionales instalados en la popa de un buque.

Estos ánodos, a pesar de su buen funcionamiento, tienen la desventaja de que al ir colocados sobre la obra viva generan un aumento sobre la resistencia total al avance del buque. Por otro lado, es importante destacar que su vida útil es de unos dos años, por lo que generalmente son sustituidos por unos nuevos aprovechando cada varada del buque.

Se plantea en estos buques la posibilidad de cambiar los ánodos de sacrificio por el sistema de protección catódica por corrientes impresas.

Este sistema funciona a partir de la corriente alterna existente en el buque, ésta se rectifica y es dispersada en el electrolito, agua de mar, mediante unos ánodos.

Este sistema tiene la ventaja de necesitar un número de ánodos muy reducido y con una vida útil mucho mayor que la de los ánodos de sacrificio. Por otro lado, si a este equipo le acoplamos un sistema automático, o un mando regulable, que actúe sobre la salida de corriente según las

necesidades de protección del casco, se consigue siempre la intensidad media necesaria en cada momento para mantener el casco continuamente protegido.

Para el cálculo del ahorro producido, es necesario conocer el número de ánodos que lleva cada buque en su carena, para calcular el gasto en que se incurre en su sustitución durante las varadas y para calcular el aumento de resistencia que generan.

Éste número de ánodos se estima en función de la superficie mojada del casco y de los días de operación:

Nº Buque	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Nº ánodos sacr.	27	25	13	23	40	42	35	35	44	20	24	33	25	26	19	42	31	22	23	23

Tabla 28: Nº Ánodos de sacrificio estimados para los buques en estudio.

Se obtiene la siguiente gráfica que nos muestra la acusada relación existente entre la eslora entre perpendiculares y el número de ánodos:

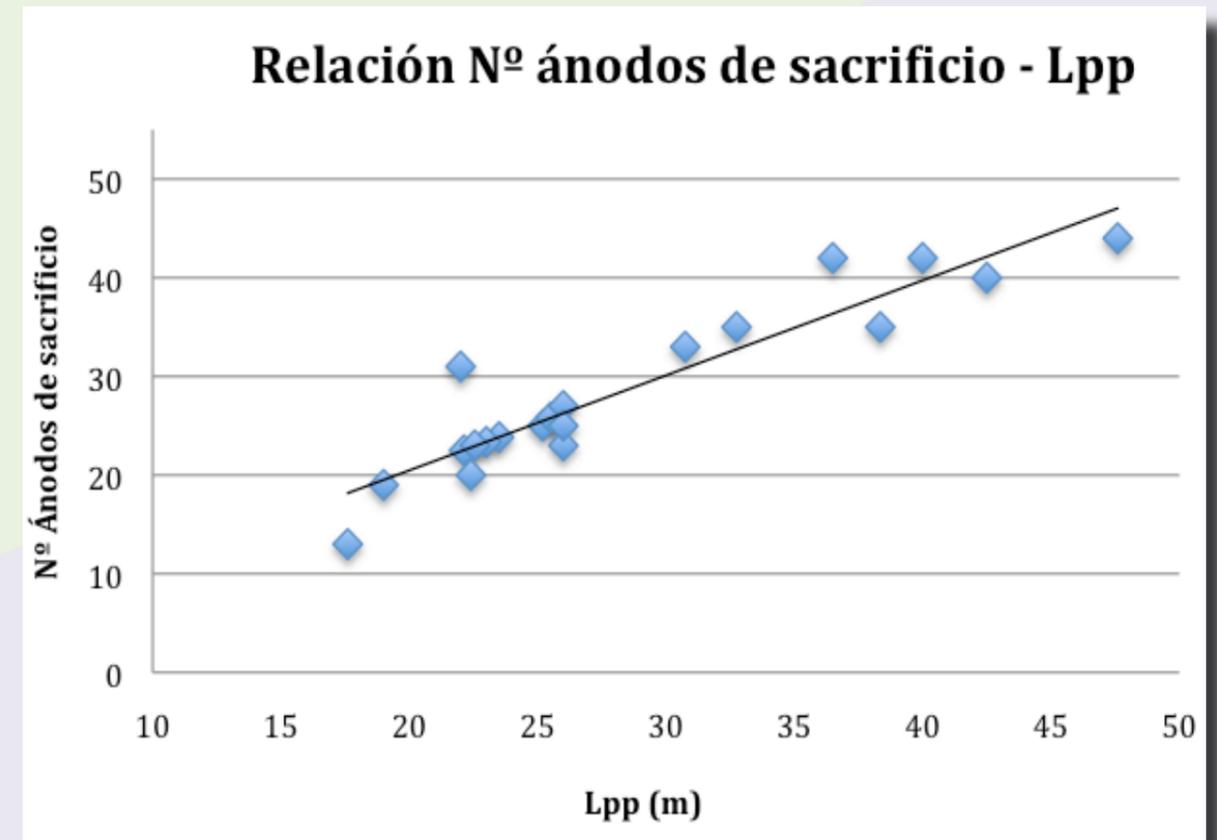


Fig. 172: Relación Nº ánodos de sacrificio – Lpp (m).

• **Comparativa medidas hidrodinámica y propulsión**

A lo largo de los anteriores apartados se han mostrado las gráficas comparativas de los periodos de amortización y los porcentajes de ahorro obtenidos, para cada medida propuesta, según el buque. Se ha visto que, en general, según crece el porcentaje de ahorro disminuyen los periodos de amortización (en general, porque el periodo de amortización también depende de otros factores como son la inversión necesaria y el consumo anual de combustible del buque).

Para hacer una comparativa de todas las medidas propuestas, se presenta el siguiente gráfico, de los valores medios obtenidos tras el estudio, para los periodos de amortización, ahorros de combustible e inversiones necesarias para cada medida:

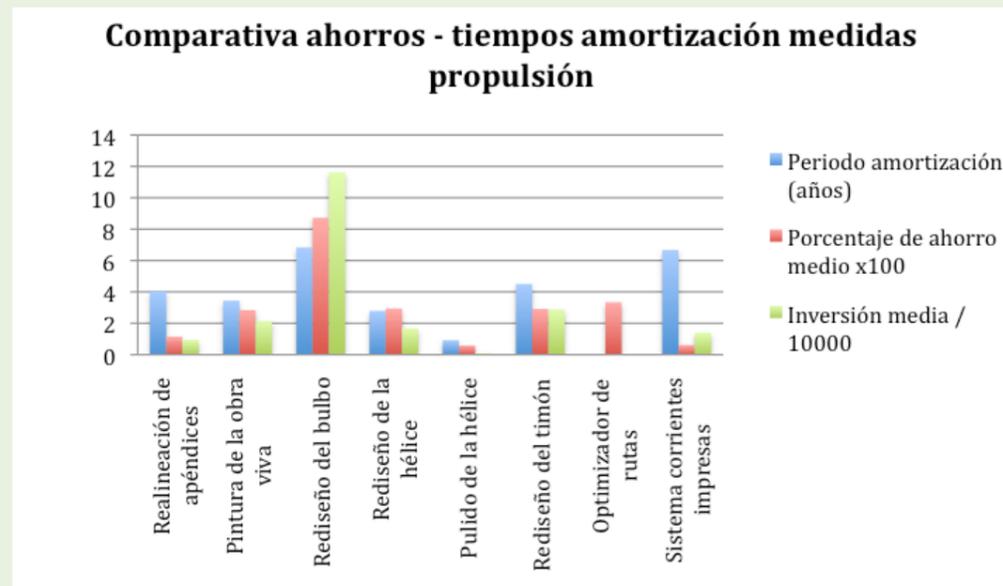


Fig. 175: Comparativa valores medios ahorro – inversión – amortización medidas hidrodinámica y propulsión.

La gráfica refleja que la medida más eficiente, desde el punto de vista energético, es el bulbo de proa, y las menores, son el pulido de la hélice, la realineación de apéndices, y el sistema de corrientes impresas. Sin embargo, desde el punto de vista de la rentabilidad económica, la medida más rentable es el pulido de la hélice, y las menos rentables son el bulbo de proa y el sistema de corrientes impresas.

NOTA: El optimizador de rutas, al no requerir una inversión inicial, no aparece en la anterior gráfica junto a un periodo de amortización.

5.8.2. Generación y consumidores

Una vez realizados los balances eléctricos, y obtenidos el perfil operativo del buque y de la planta generadora, se procede a exponer las medidas planteadas para mejorar la eficiencia de la misma.

Las reducciones alcanzadas en el consumo de combustible, se refieren en todos los casos al consumo total de la planta generadora del buque. Puesto que las medidas se aplican a consumidores, cuyo funcionamiento depende de la condición de operación del buque, las reducciones

alcanzadas, además de depender de las potencias demandadas por dichos consumidores, dependerán en gran medida del perfil operativo del buque.

De igual manera que sucedía con las mejoras de la planta propulsora, los periodos de amortización serán menores cuanto mayores sean la reducción alcanzada y el gasto anual de combustible, y aumentarán con la inversión necesaria.

• **Reparto de cargas**

Se plantean y analizan las posibles reconfiguraciones de los grupos existentes, en cada condición de operación, para minimizar el consumo supliendo la demanda eléctrica. Esta medida no requeriría de ninguna inversión.

Excepto en uno de los buques estudiados, todos los buques disponen de motores auxiliares que son capaces de suplir la demanda de potencia eléctrica en todas las condiciones de operación con sólo uno de ellos en funcionamiento, y como ya se adelantó, dichos motores están bastante bien dimensionados. La manera común de operar es con un solo motor en funcionamiento, de esta forma se aumenta su carga y se mejora su consumo específico.

Un reparto de cargas entre los mismos conllevaría un aumento de los consumos producidos.

Sin embargo hay dos buques, los N° 4 y N° 11, que operan, sin necesidad, repartiendo la carga entre ambos auxiliares, en estos casos se alcanzaría una reducción considerable en el consumo, si toda la carga fuese suplida por un único motor.

Dos buques del estudio poseen dos motores auxiliares de diferentes potencias nominales, en este caso sí es efectivo operar con uno u otro, en función de la potencia demandada.

• **Generador de cola, SHYMGEN**

Se contempla la posibilidad de instalar un generador de cola con un SHYMGEN. Este último es un sistema de control tensión- frecuencia que permite el funcionamiento del generador de cola a velocidad variable.

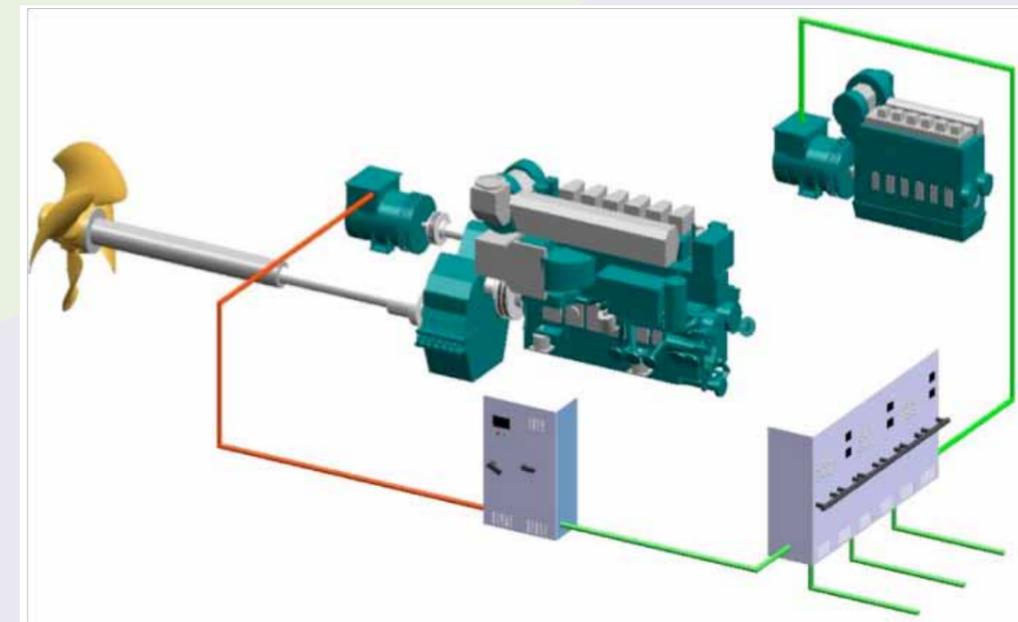


Fig. 176: Instalación típica del generador de cola con el SHYMGEN.

Tanto en el caso particular de la tabla expuesta, como en el resto de buques, se consiguen ahorros significativos con los repartos "C" y "B", dependiendo estos de la carga de partida del motor auxiliar.

Eligiendo para cada condición de operación, el reparto de cargas que nos arroje unos mayores ahorros de combustible, se pueden obtener ahorros totales de entre el 5 y el 11 %, en función del buque. Para este cálculo no se ha tenido en cuenta buque N°8, que ya dispone de un generador de cola. Tampoco se tienen en cuenta los buques N° 4 y N° 11, pues al ser diferentes las condiciones de partida se desvirtuarían los resultados, al partir de un reparto de cargas más ineficiente, los ahorros obtenidos mediante el SHYMGEM superan el 15 %, sin embargo, serían menores si los calculamos respecto al consumo de la planta con un solo auxiliar en funcionamiento, lo cual no tiene ningún coste.

Las inversiones necesarias dependen principalmente de la potencia nominal necesaria para el generador, los precios varían para los buques en estudio, entre 50.000 y 150.000 € produciéndose periodos de amortización, salvo excepciones, de entre cuatro y ocho años.

La opción del generador de cola más el SHYMGEM es tan eficiente porque tiene como fuente motriz el principal, de esta manera, al calcular los consumos nos trasladaríamos por la curva del principal, sumando a la potencia que el mismo desarrolla, la potencia que deba suplir el cola, de esta manera se mejoraría el punto de funcionamiento del principal, siendo el coste de esta energía menor que si la misma demanda la supliese un auxiliar.

Existen varias posibilidades para la instalación a bordo del generador de cola, pasamos a describir brevemente las mismas.

Por un lado se puede instalar el alternador en una PTO de la reductora. Nos encontramos con dos posibilidades, que la reductora instalada disponga de una PTO libre, o que no disponiendo de una PTO libre, permita, con una pequeña reforma, la instalación de un eje operando como PTO. En cualquiera de los casos sería necesario garantizar que dicho eje soporte la potencia a instalar así como la velocidad de giro.

En el caso de que la reductora no permita el acoplamiento del alternador mediante una PTO, es posible la instalación del generador por proa del motor (lado opuesto al eje de cola) mediante el uso de un mangón que acople el alternador al eje del principal.

En ambas configuraciones, alternador y motor principal, se ubican en serie. También se puede optar por su instalación en paralelo. En este caso la transmisión de la potencia se haría a través de correas entre el eje del motor y el eje del alternador. La transmisión por correas permite mucha versatilidad en cuanto a la ubicación del dispositivo motriz y el dispositivo arrastrado, sin embargo presenta limitaciones respecto de la potencia a transmitir.

La elección entre las citadas opciones depende principalmente del espacio disponible en cámara de máquinas; es necesario evaluar el empacho necesario para ubicar el cola, así como el polín, tacos, etc.

Los precios que se proporcionan pueden sufrir ciertas oscilaciones en función de la opción de instalación elegida.

Comparativa periodo amortización SHYMGEM - ahorro combustible

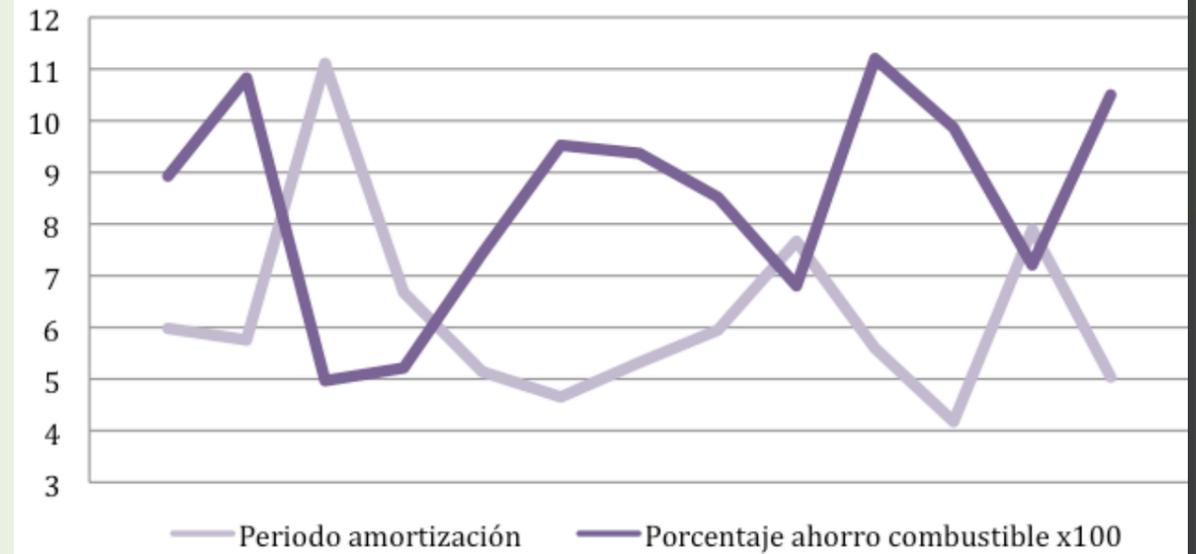


Fig. 177: Comparativa periodo amortización SHYMGEM – porcentaje ahorro combustible x 100.

• Planta frigorífica

Los compresores de refrigeración son normalmente seleccionados de acuerdo a la capacidad máxima que necesitan para el sistema en que funcionan. Pero dichas capacidades varían a lo largo del tiempo, con lo cual, los compresores, elegidos para cubrir las situaciones de máxima demanda de capacidad, se encuentran sobredimensionados durante largos periodos de tiempo.

Se plantea la instalación de variadores de frecuencia, con modulador PWM, lo cual supone una reducción considerable en el consumo energético de los compresores.

La velocidad de rotación del motor del compresor es proporcional a la frecuencia de alimentación. Con un variador de frecuencia, la frecuencia de alimentación se puede variar, con la consiguiente variación en la velocidad de rotación del compresor. De esta manera, la capacidad desarrollada por el compresor en cada condición puede adaptarse a la demanda, reduciendo su consumo de potencia, en los casos en que se reduzca su capacidad.

Para el cálculo de la reducción de los consumos de combustible es necesario conocer el régimen de funcionamiento del compresor a lo largo del tiempo, para calcular las reducciones de potencia alcanzables. Este aspecto necesitaría un estudio detallado por parte de una empresa especialista en sistemas frigoríficos.

En cualquier caso, las reducciones de potencia estarían por encima del 10 % de la potencia consumida por los compresores. Se estiman ahorros de combustible de entre el 2 y el 4 %, dependiendo del buque.

Los compresores de bodegas y túneles instalados en los buques en estudio varían desde 10 kW a 90 kW aproximadamente, los de gambuza tienen potencias entre 1 y 10 kW, oscilando los precios de los correspondientes variadores de frecuencia entre 1.000 y 10.000 €, con periodos de amortización, salvo excepciones, de entre dos y cinco años (calculado para el supuesto de instalación de variadores en todos los compresores).

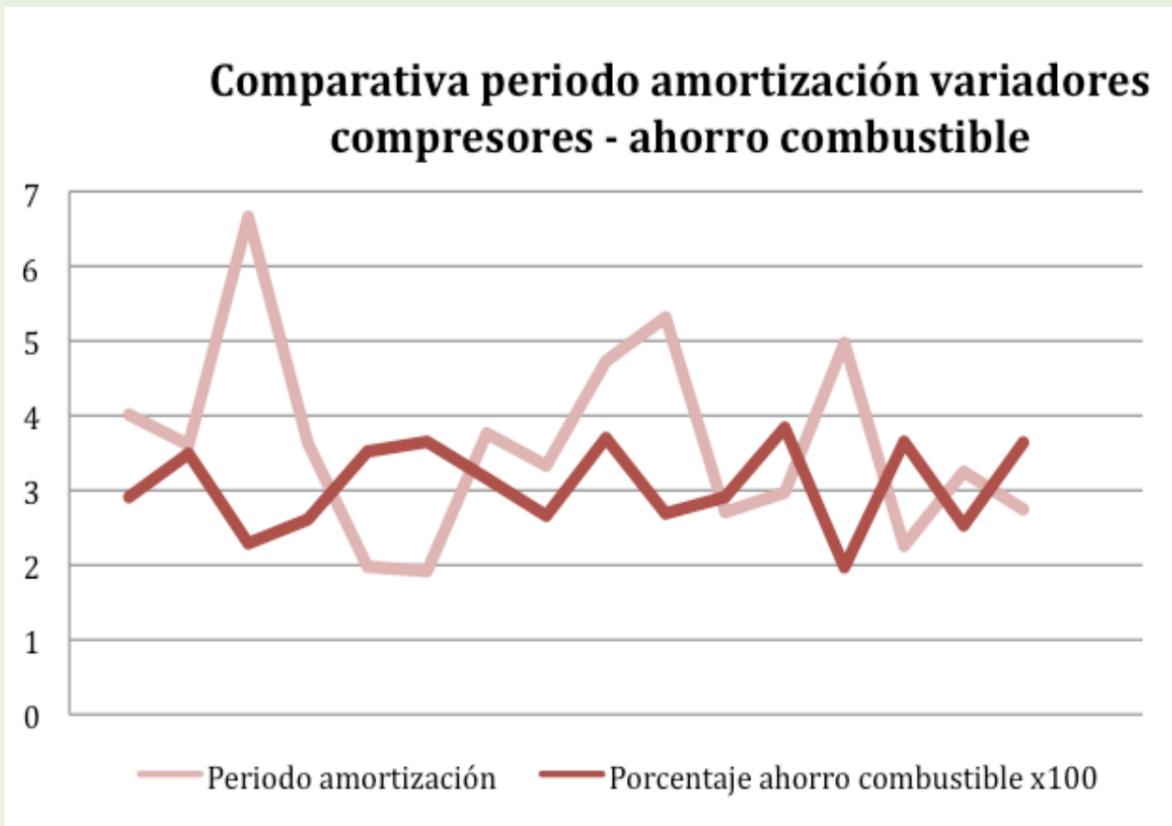


Fig. 178: Comparativa periodo amortización variadores compresores – porcentaje ahorro combustible x 100.

• Ventiladores

De igual manera que los compresores, los ventiladores también encuentran durante su actividad diferentes demandas en cuanto a su capacidad, siendo también susceptibles de instalarles variadores de frecuencia.

De nuevo para el cálculo exacto del ahorro de combustible se necesitaría un estudio profundo que nos permitiese conocer el régimen de funcionamiento de los mismos.

Estando las mejoras alcanzables por encima del 20 % de la potencia consumida por los ventiladores, se estiman ahorros de combustible de entre el 0,5 y el 1,5 %, según el buque.

Los ventiladores de que disponemos se encuentran entre 1 y 6 kW aproximadamente, variando los precios de los correspondientes variadores de frecuencia entre de 800 y 1.100 € con periodos de amortización, en general, entre dos y seis años (calculado para el supuesto de instalación de variadores en todos los ventiladores).

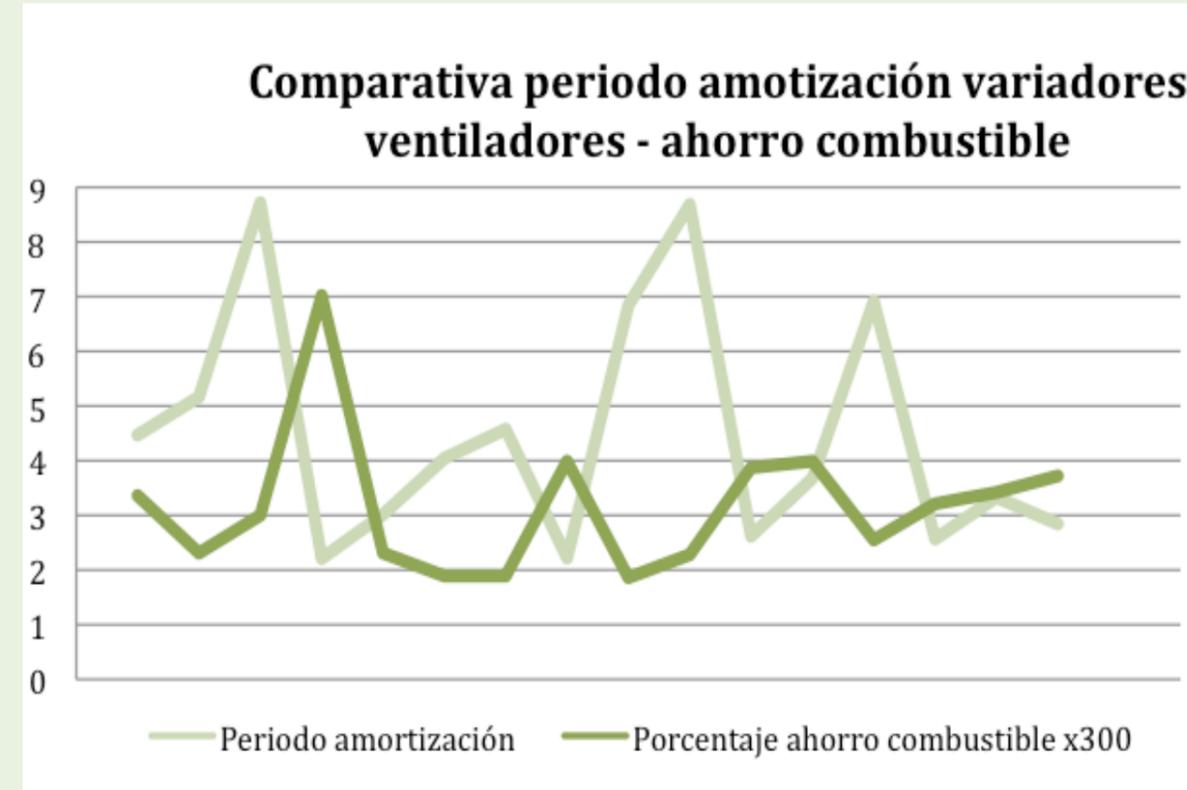


Fig. 179: Comparativa periodo amortización variadores ventiladores – porcentaje ahorro combustible x 300.

• Tambor de palangre y lanzadera

Para reducir la potencia consumida por el tambor de palangre y la lanzadera se plantean dos opciones.

La primera de ellas sería sustituir las bombas hidráulicas de la central hidráulica de pesca por bombas de caudal variable movidas directamente por el motor propulsor.

Sin embargo, realizando los cálculos, vemos que el ahorro total de combustible, como diferencia del ahorro producido en generación, y el aumento de combustible producido en propulsión, no compensa la inversión necesaria para llevar a cabo dicha propuesta.

La segunda de las opciones planteadas es el cambio del motor hidráulico del tambor (y de la lanzadera) a motor eléctrico. Si bien el motor hidráulico tiene las ventajas derivadas de su reducido peso y tamaño, también tiene notables desventajas.

Por un lado para su funcionamiento será necesaria la instalación de una bomba hidráulica, y por consiguiente, un elemento motriz, además de un tanque de desaireación y almacén y un enfriador, completando el sistema con las tuberías, válvulas y filtros correspondientes, frente al motor eléctrico que necesita el propio motor y un variador, para adaptarse a las diferentes condiciones de funcionamiento del tambor.

Esto implica que el rendimiento de la instalación es mucho mayor en el caso del motor eléctri-

co que en el del motor hidráulico, pues además de tener el propio motor un mayor rendimiento, estamos disminuyendo mucho las pérdidas debidas a elementos intermedios. Por otro lado en el caso del motor hidráulico los gastos en mantenimiento son mucho mayores, siendo el sistema, además, más propenso a los fallos.

Se requiere la realización de un estudio más profundo para calcular los ahorros producidos, pues habría que conocer exactamente las pérdidas que se producen en cada caso a lo largo del circuito, así como el régimen de funcionamiento de los elementos que lo forman.

Se estima que los ahorros de combustible generados se encuentran entre el 1 y el 4 %, dependiendo del buque. Los precios pueden variar mucho dependiendo de la obra necesaria, por lo que sería conveniente hacer un estudio específico para cada buque por parte de una empresa especializada.

• **Cocina**

La sustitución de las cocinas tradicionales instaladas a bordo por la modernas placas de inducción, puede reportarnos un ahorro de alrededor del 40 % del consumo de potencia de las mismas. Este ahorro se debe principalmente a la reducción del tiempo necesario para calentar los alimentos en las placas de inducción.

Por otro lado es importante destacar otra ventaja que se obtiene con las placas de inducción, éstas sólo calientan la superficie de los utensilios en contacto directo con ellas, éstos además deben ser especiales para cocinas de inducción. Existiendo a bordo continuos movimientos se evitan así posibles accidentes como quemaduras en la piel. Por otro lado se evita el riesgo de incendio asociado a la cocina.

Las reducciones de combustible alcanzadas se encuentran entre un 0,5 y un 2 %, con unas inversiones de entre 7.000 y 10.000 € dependiendo del número de placas de que disponga la cocina, y con unos periodos de amortización que, salvo contadas excepciones, se encuentran entre tres y cinco años.

Es de destacar, que no se han contabilizado los posibles ahorros derivados del tiempo que eventualmente los fuegos de una cocina tradicional quedan encendidos sin uso.

Es necesario indicar, que en caso de llevar a cabo esta propuesta, también sería necesario renovar las ollas, sartenes y demás utensilios, pues deben ser específicos para cocinas de inducción.

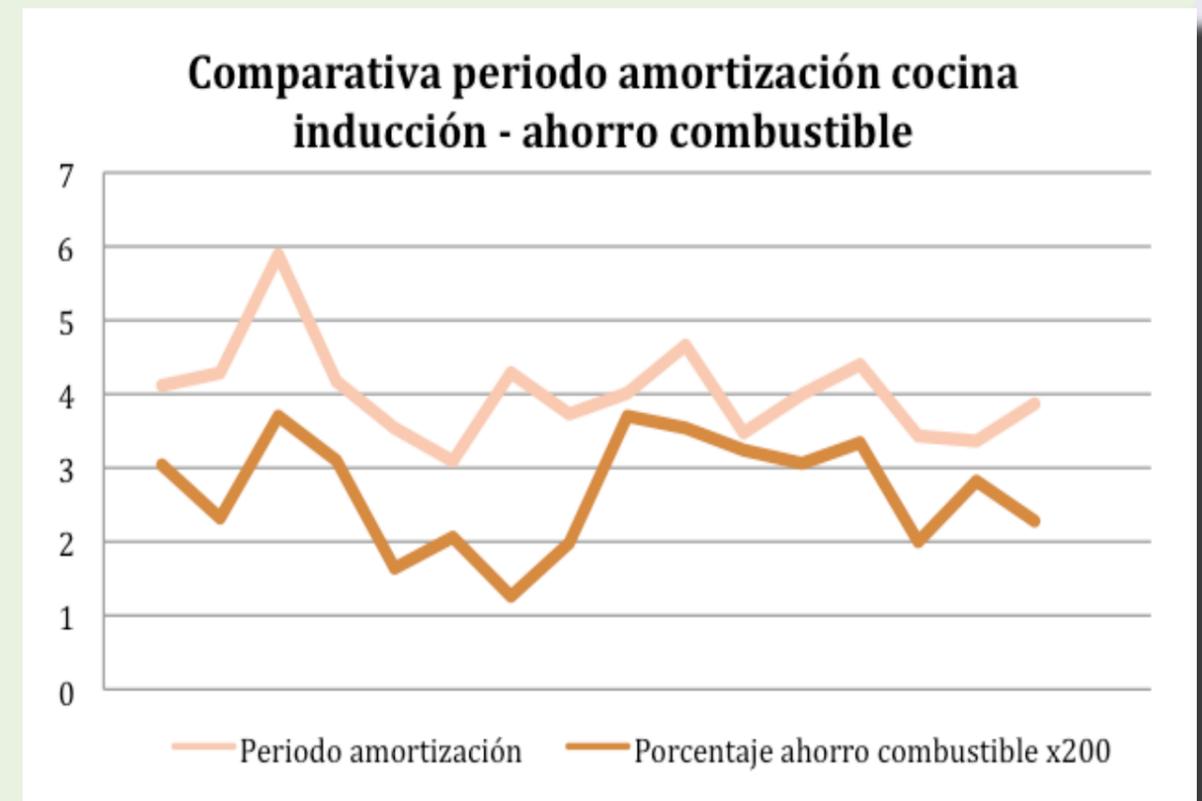


Fig. 181: Comparativa periodo amortización cocina inducción – porcentaje ahorro combustible x 200.

• **Alumbrado interior**

Se realiza un estudio del cambio del alumbrado tradicional a las tecnologías LED.

Las ventajas básicas del tubo LED frente al tubo fluorescente son:

- Vida útil (del orden de 6 veces más).
- Consumo (40 % menor).



Fig. 180: Cocina tradicional frente a cocina de inducción.



Fig. 182: Fluorescente frente a tubo de LEDs.

Es cierto que el coste de los LEDs es más de cinco veces el coste de los fluorescentes, pero esto se ve compensado con la mayor vida útil de los primeros y su reducción en el consumo de potencia.

Las reducciones de combustible alcanzadas se encuentran entre un 0,5 % y 0,8 %. La inversión necesaria depende del número de lámparas a sustituir, variando, para los buques en estudio entre 2.500 y 6.500 €, con unos periodos de amortización que, salvo excepciones, se encuentran entre cuatro y seis años.

Sería de gran utilidad la posibilidad de realizar un estudio a bordo de las necesidades de iluminación según las zonas del buque, así como de las costumbres de utilización de la misma.

Con este estudio podríamos detectar locales, como puede ser la cámara de máquinas, en los que no es necesaria una iluminación a máxima potencia de manera continua, y sin embargo es la norma; en ellos se podrían instalar potenciómetros para regular el nivel de iluminación.

También se podrían instalar detectores de movimiento para el encendido y apagado automático de las luces, en zonas como las gambuzas, o las bodegas, en las que la luz suele dejarse encendida continuamente sin necesidad.

Con todo ello podríamos reducir aún más el consumo de potencia en iluminación.

También se puede llevar a cabo la sustitución de los proyectores exteriores por proyectores de bajo consumo, pero en este caso la inversión requerida es muy alta en comparación con el ahorro generado, de manera que se producen muy elevados periodos de amortización, lo que nos lleva a no recomendar dicha actuación.

Comparativa periodo amortización tecnologías LED - ahorro combustible

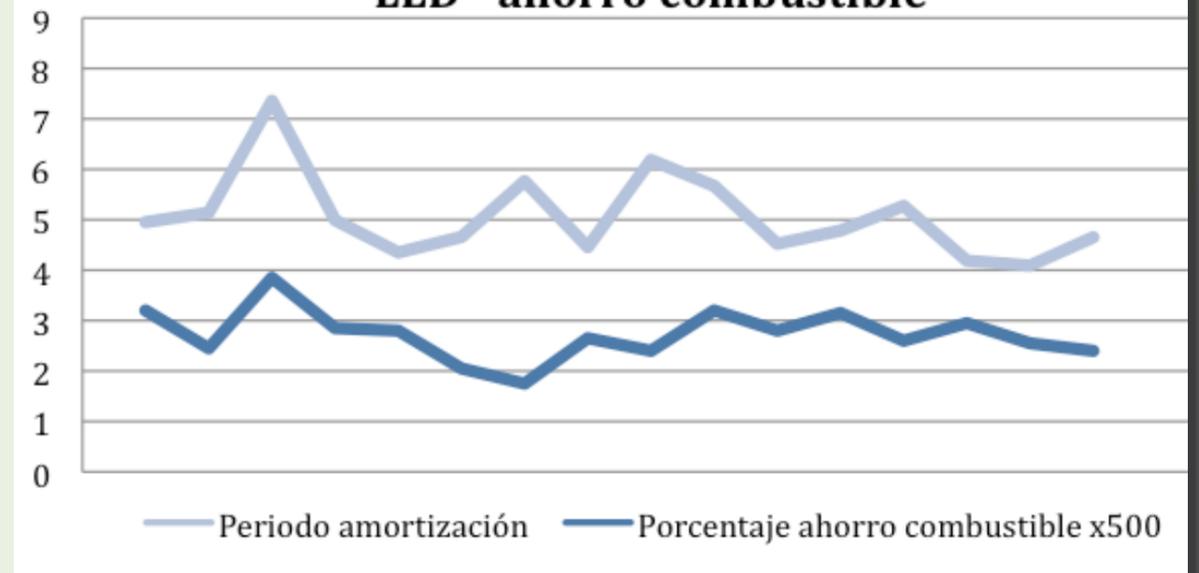


Fig. 183: Comparativa periodo amortización tecnologías LED - ahorro combustible x 500.

• Recuperación de calor

En los motores diesel existen varios focos de calor recuperable. El más importante es el calor de los gases de escape. Las formas de recuperación, son diversas, y siendo un buque que opera con gasoil (con un supuesto contenido en azufre máximo del 1,5 %), y por lo tanto sin requerimientos de calefacción de los tanques, es posible enfocar el uso de esta fuente de energía en otros usos como refrigeración, calefacción y/o generación eléctrica.

El segundo foco de calor más importante de los motores de combustión interna es el agua de refrigeración, que tras enfriar las camisas de los cilindros y otros componentes del motor, puede ser aprovechada en otros procesos como la calefacción.

Otro foco de calor de mayor dificultad de aprovechamiento sería el calor de salida del aceite de lubricación.

De esta medida podría beneficiarse, por ejemplo, la instalación de aire acondicionado/calefacción del buque. El aire del sistema es calentado o enfriado en función de la temperatura medida por un termostato en el aire de los locales acondicionados.

Cuando es necesario aumentar la temperatura del aire se activan unas resistencias eléctricas que disipan calor y calientan el aire a su paso.

Si hacemos pasar el aire a calentar alrededor de un serpentín, por el que circule agua del sistema de refrigeración de los motores, el aire se calentará sin necesidad de activar las resistencias y por lo tanto sin consumo de potencia eléctrica. En caso de que el aumento de temperatura por este medio no sea suficiente, este sistema actuaría como un precalentamiento, y tras ello se activarían las resistencias, consumiendo en cualquier caso menos potencia que la de partida (el circuito

de refrigeración del motor es un circuito cerrado, el agua de refrigeración necesita enfriarse antes de retornar al motor, de esta manera aprovechamos la refrigeración, en cualquier caso necesaria, de dicho agua para la calefacción).

Se estima para el tipo y potencia de los motores instalados, tanto propulsores como auxiliares, que en estos buques, poner en práctica medidas de recuperación de calor no sería rentable, pues la cantidad de potencia obtenible no compensaría las inversiones necesarias.

• **Comparativa medidas generación y consumidores**

Se presenta el siguiente gráfico como comparativa de los valores medios obtenidos para todas las medidas propuestas, para los periodos de amortización, ahorros de combustible e inversiones necesarias:

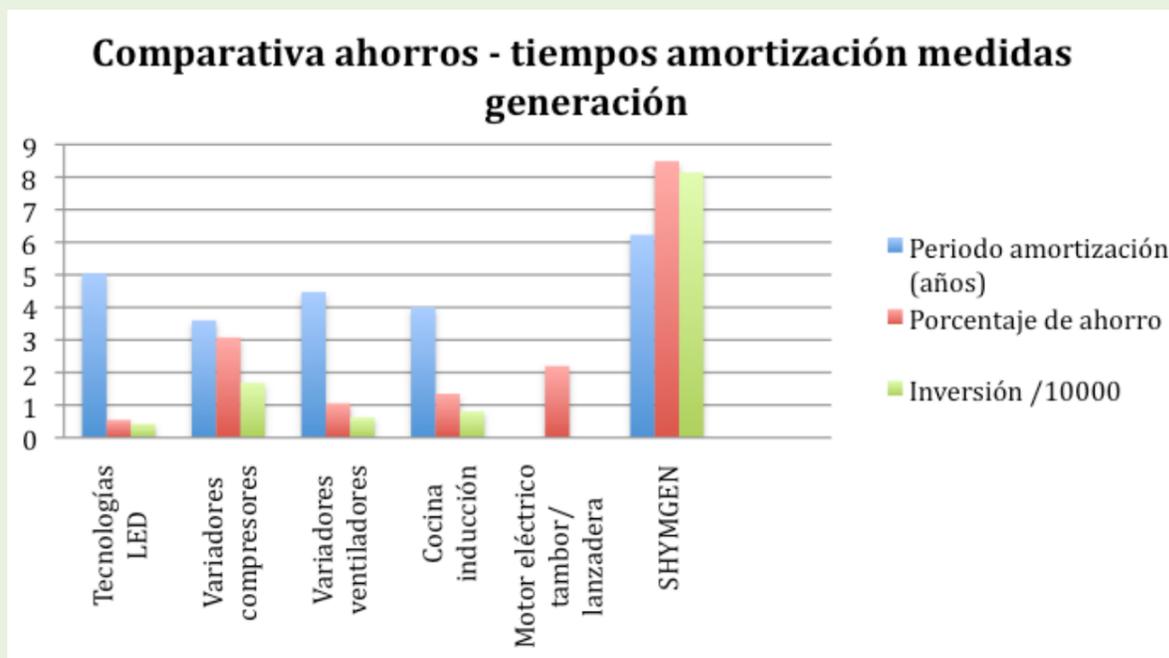


Fig. 184: Comparativa valores medios ahorro – inversión – amortización medidas generación.

La gráfica refleja que las medidas más eficientes, desde el punto de vista de energético, son el SHYMGEN y los variadores en los compresores, y la menor, es el cambio a tecnologías LED. Desde el punto de vista de la rentabilidad económica, las medidas más rentables son los variadores en los compresores y el cambio a cocina de inducción.

5.8.3. **Propuestas conjuntas generación/propulsión**

En este apartado se exponen dos medidas cuya aplicación genera ahorros tanto en la propulsión como en la generación del buque.

• **Sistema P&EMS**

Se recomienda a todos los buques la instalación y uso del sistema P&EMS, se trata de un sistema de monitorización del consumo y la eficiencia energética del buque. El sistema es adaptable a cualquier tipo de buque, y permite que el usuario conozca en tiempo real datos del consumo energético del mismo de tal forma que pueda actuar para reducirlo.

Por tratarse de un sistema configurable a medida para cada buque, las características de la instalación varían de unos buques a otros. No obstante podemos hacer una descripción resumida de una configuración típica.

El sistema consta de los siguientes elementos:

- **Sensores:** Estos son de diferentes tipos y están instalados mayoritariamente en los equipos de la cámara de máquinas.

- **Unidad de adquisición de datos:** Instalada en la cámara de máquinas o en la cámara de control, recibe los datos de los sensores y los envía al PC situado en el puente de gobierno.

- **PC:** Se sitúa en el puente de gobierno y recibe la información de la unidad de adquisición de datos a través de un cable. Recibe asimismo las señales de posición, rumbo y velocidad de un GPS, o magnitud y dirección del viento a través de un anemómetro del puente.

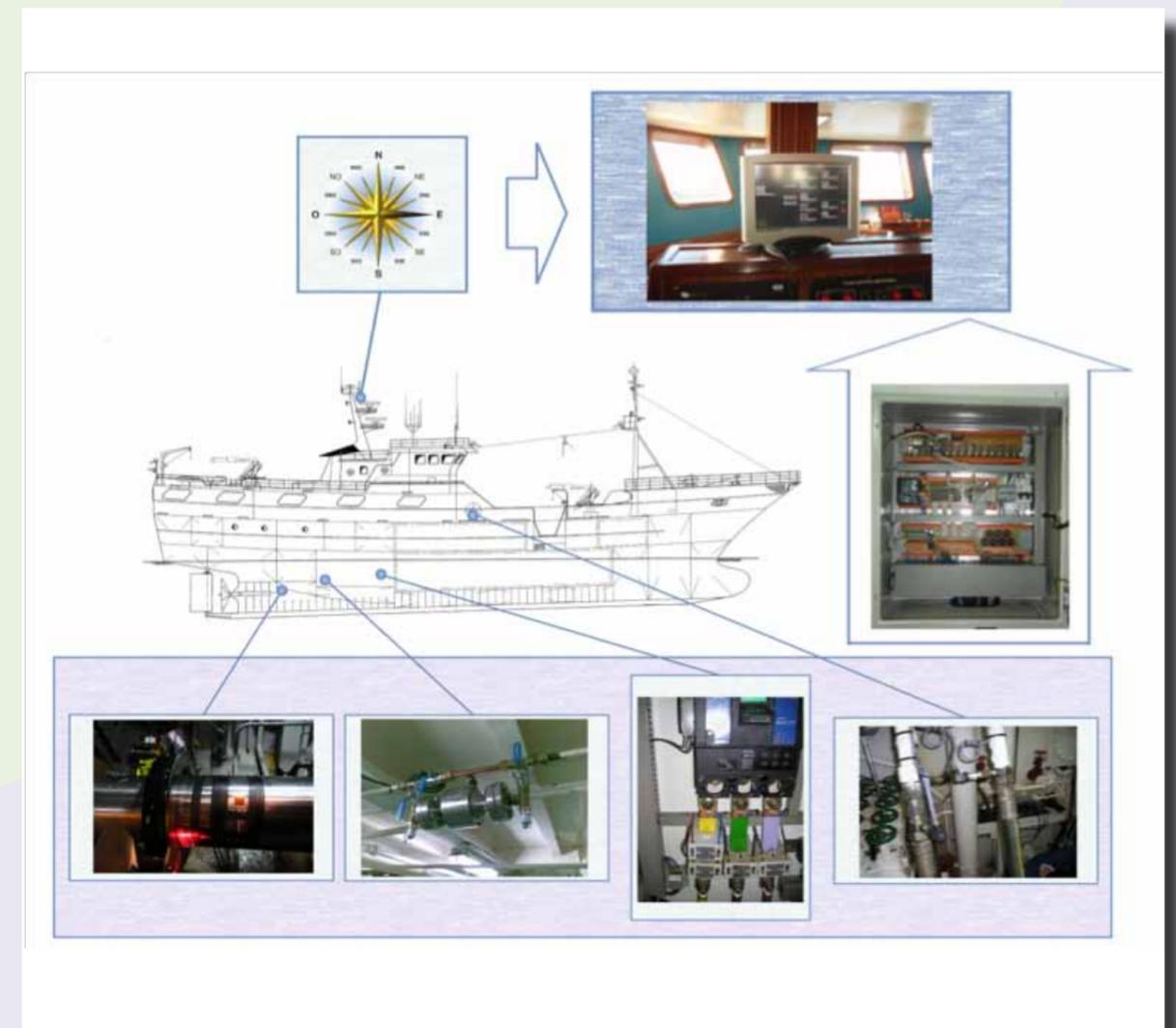


Fig. 185: Esquema sistema de monitorización PEM&S.

Se estima un precio para la adquisición e instalación del sistema en estos buques de 35.000 € con ahorros que pueden llegar hasta el 5 %, tanto en los consumos de la planta propulsora, como en los de la planta generadora. Los correspondientes periodos de amortización, teniendo en cuenta tanto los ahorros producidos en la propulsión, como los producidos en la generación, varían, salvo excepciones, entre uno y tres años.

Es importante destacar acerca de la instalación y uso del P&EMS, que se trata de una medida que no conlleva ahorros intrínsecos a la misma, como otras propuestas, por el mero hecho de instalar los equipos necesarios, sino que se requiere una concienciación de la tripulación así como un adecuado uso y utilización de los mismos.

• **Caudalímetros**

Otra opción mucho más económica que puede plantearse es la instalación a bordo de caudalímetros, tanto en el motor propulsor, como en los auxiliares, para poder controlar en cualquier momento el caudal de combustible que se está consumiendo.

Se instalaría un caudalímetro en la alimentación y otro en el retorno de cada motor, de manera que la diferencia entre los caudales medidos por ambos reflejaría el consumo del motor en ese momento.

Se estima que pueden alcanzarse ahorros de combustible de hasta un 2 %, tanto en la propulsión como en la generación. Los precios de cada caudalímetro se encuentran en torno a los 1.000 € luego para un buque con dos auxiliares, más el principal, la inversión requerida sería de 6.000 €. Los periodos de amortización necesarios son, en general, menores a un año y medio.

Sobre esta medida se hacen las mismas consideraciones que sobre el P&EMS, en cuanto a la concienciación de la tripulación y la necesidad de un uso adecuado.

• **Comparativa medidas conjuntas**

Se presenta el siguiente gráfico como comparativa de los valores medios obtenidos para las medidas propuestas, para los periodos de amortización, ahorro de combustible e inversión necesaria:

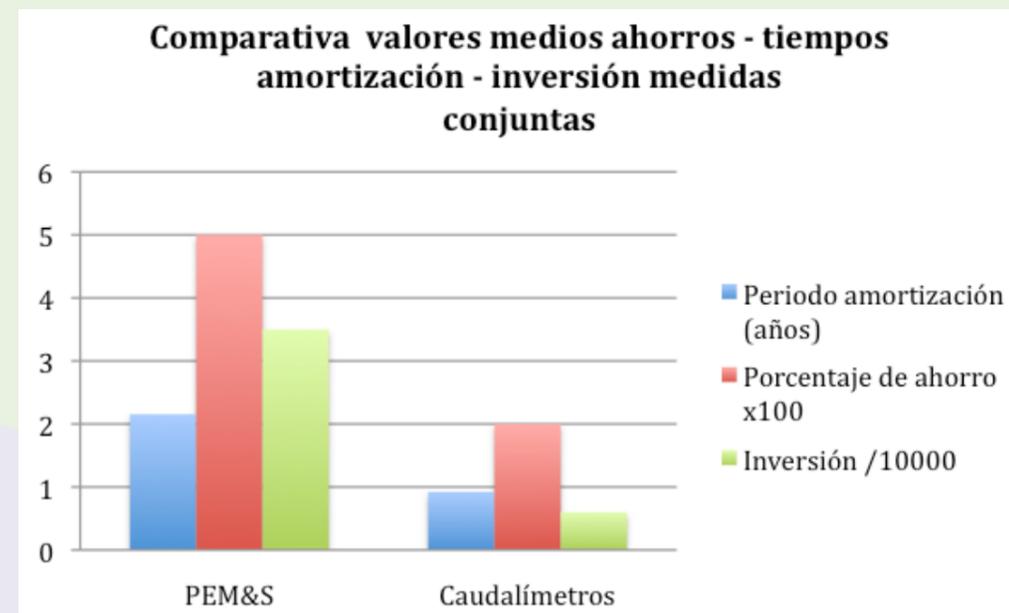


Fig. 186: Comparativa valores medios ahorro – inversión – amortización medidas conjuntas.

5.8.4. Otras propuestas

• **Conversión a fuel**

A raíz de las constantes subidas en el precio del combustible a lo largo de los últimos años y de que no hay vistas a que esta tendencia cambie, se plantea como medida de reducción de coste económico la posibilidad de un cambio en el tipo de combustible utilizado.

Esto nos lleva a plantearnos la posibilidad de utilizar HFO (Heavy Fuel Oil) en lugar del MDO (Marine Diesel Oil) pues la diferencia de precios por tonelada entre ambos combustibles es elevada, con un precio de 765 €/ton para el MDO y de 555 €/ton para el HFO, casi un 30 % menos.

Es necesario a la hora de plantearse llevar a cabo esta medida tener en cuenta que la revisión del Anexo VI del Convenio MARPOL estipula que el límite global de azufre en el combustible pasará en 2010 del 4,5 % al 3,5 % y, en 2020, al 0,5 %. Pero el contenido máximo de azufre en el combustible permitido en las zonas de control de emisiones de sulfuros (SECAs) bajará, ya en julio de este mismo año 2010, del actual 1,5 al 1 %, mientras que en 2015, bajará al 0,1 %.



Fig. 187: SECAs (Sulphur Emission Control Area).

El HFO tiene un contenido en azufre mucho mayor que el MDO, por lo tanto para que esta medida sea aplicable sería necesario que el buque operase fuera de las zonas SECAs, cuanto más parte de la campaña mejor.

Esta medida requeriría de una inversión inicial referente a los costes de la reconversión que, dependiendo del motor, pueden afectar al sistema de lubricación, así como la adecuación del sistema de alimentación de combustible (bombas, separadoras y calentadores), la división de tanques y sus sistemas de llenado, aireación y sondas, etc., además de un aumento en los gastos de mantenimiento.

En cualquier caso es importante destacar que esta medida podría proporcionarnos un ahorro económico, pero nunca repercutiría en un ahorro energético.

5.8.5. Ahorro total propuestas

Se analizan ahora los ahorros totales obtenidos mediante la aplicación de todas las medidas propuestas, haciendo de nuevo una diferenciación entre la planta propulsora y la planta generadora, para finalmente evaluar el ahorro total.

• Ahorro total propuestas planta propulsora

La siguiente tabla nos muestra los valores medios, obtenidos a lo largo del estudio, para los ahorros de combustible alcanzados mediante la aplicación de cada una de las medidas de mejora propuestas, en referencia a la hidrodinámica y la propulsión del buque, incluyendo la propuesta de instalación del PEMS, también muestran los correspondientes periodos medios de amortización; los porcentajes de ahorro recogidos en la tabla se refieren a ahorros sobre el total de combustible consumido por la planta propulsora.

Medida	%Ahorro medio combustible	Periodo medio amortización
Realineación de apéndices	1,2%	4,1
Pintura de la obra viva	2,8%	1,2
Rediseño del bulbo	8,7%	6,8
Rediseño de la hélice	2,9%	2,8
Pulido de la hélice	0,6%	0,9
Rediseño del timón	3,0%	4,5
Optimizador de rutas	3,3%	No requiere inversión
PEM&S	5,0%	
Sistema corrientes impresas	0,6%	6,7
TOTAL (media)	28,2%	

Tabla 30: Tabla resumen ahorros medios combustible y periodos medios amortización medidas planta propulsora.

Según el buque, los ahorros totales obtenidos varían entre el 26 y el 34 %, con unos plazos de recuperación de la inversión, salvo excepciones, de entre tres y seis años, en el supuesto de aplicar todas las medidas propuestas, y sin contar, para el cálculo de los plazos de amortización, con el

optimizador de rutas, que no requiere inversión inicial, ni con el PEM&S, cuyo periodo de amortización se debería calcular en conjunto con la generación.

No se ha incluido en la anterior tabla la propuesta de reducción de la velocidad de navegación, pues la evaluación de su rentabilidad, y de si es adecuada o no, corresponde al armador del buque, por la gran cantidad de factores económicos y operacionales a tener en cuenta.

El siguiente gráfico nos muestra, sobre el total de ahorro de combustible producido en la planta propulsora, el peso que tienen las diferentes propuestas, en este caso se consideran todas las propuestas:

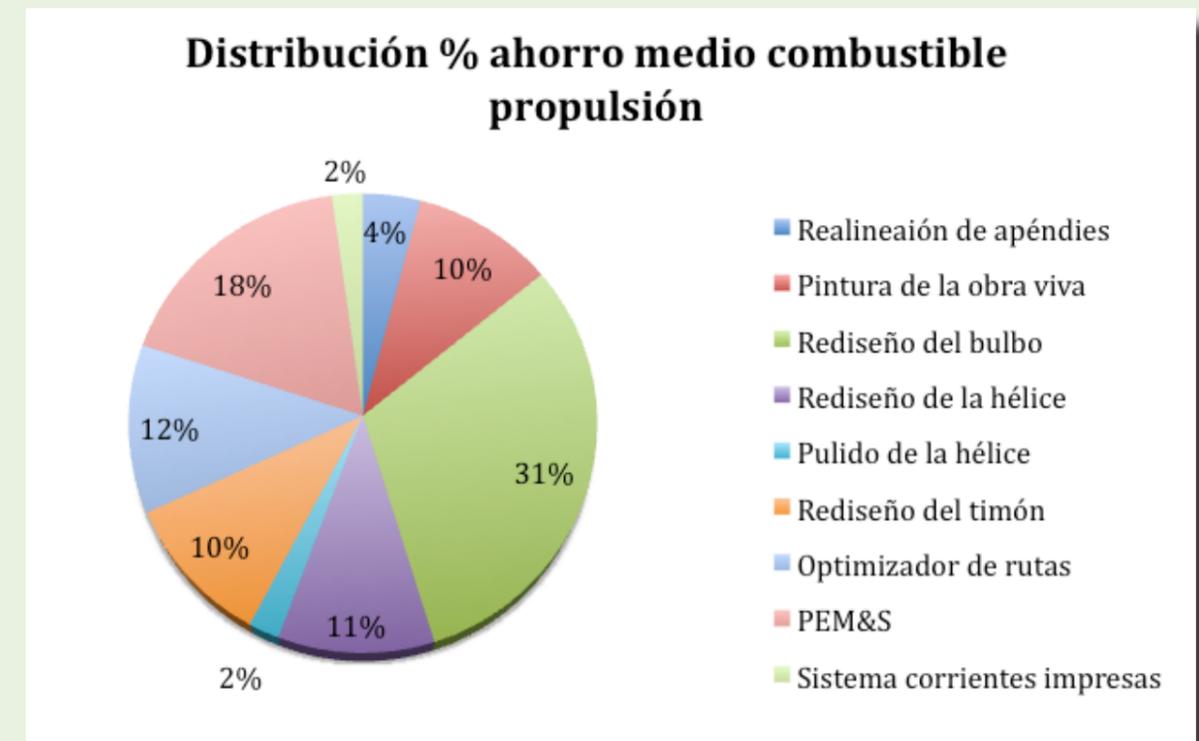


Fig. 188: Distribución % ahorro medio combustible medidas propulsión.

Las siguientes gráficas nos muestran las comparativas del periodo de amortización resultante de aplicar todas las propuestas con el consumo anual total de combustible de la propulsión, con el ahorro total obtenido, y con la inversión total requerida, para cada buque en estudio:

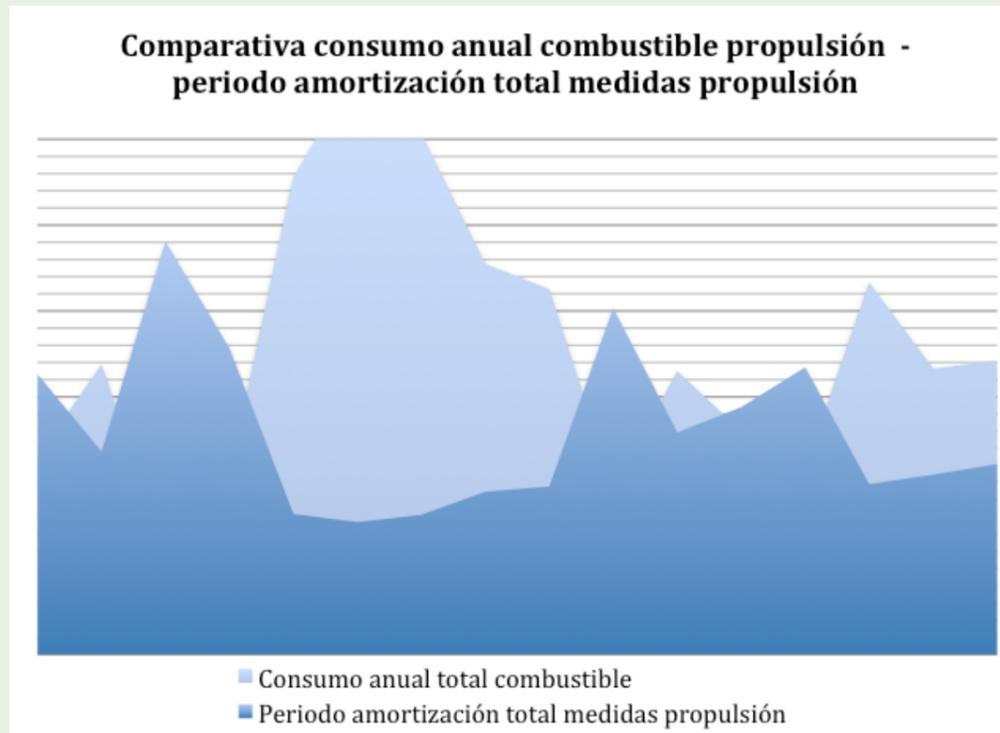


Fig. 189: Comparativa consumo anual de combustible y periodo amortización total medidas propulsión.

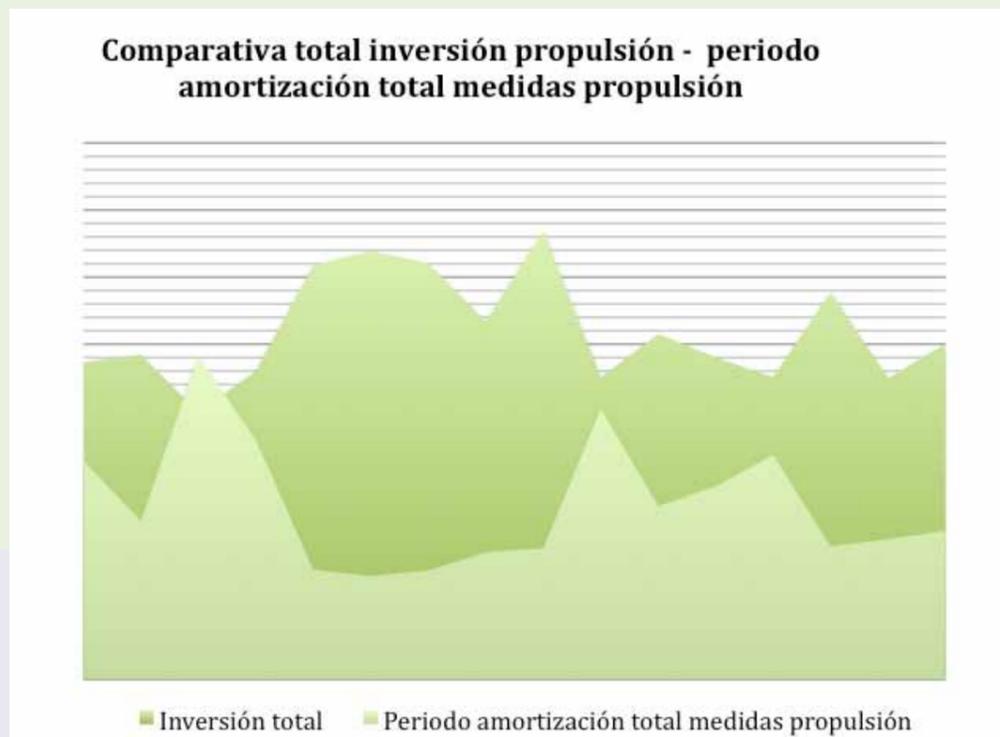


Fig. 190: Comparativa inversión total requerida y periodo amortización total medidas propulsión.

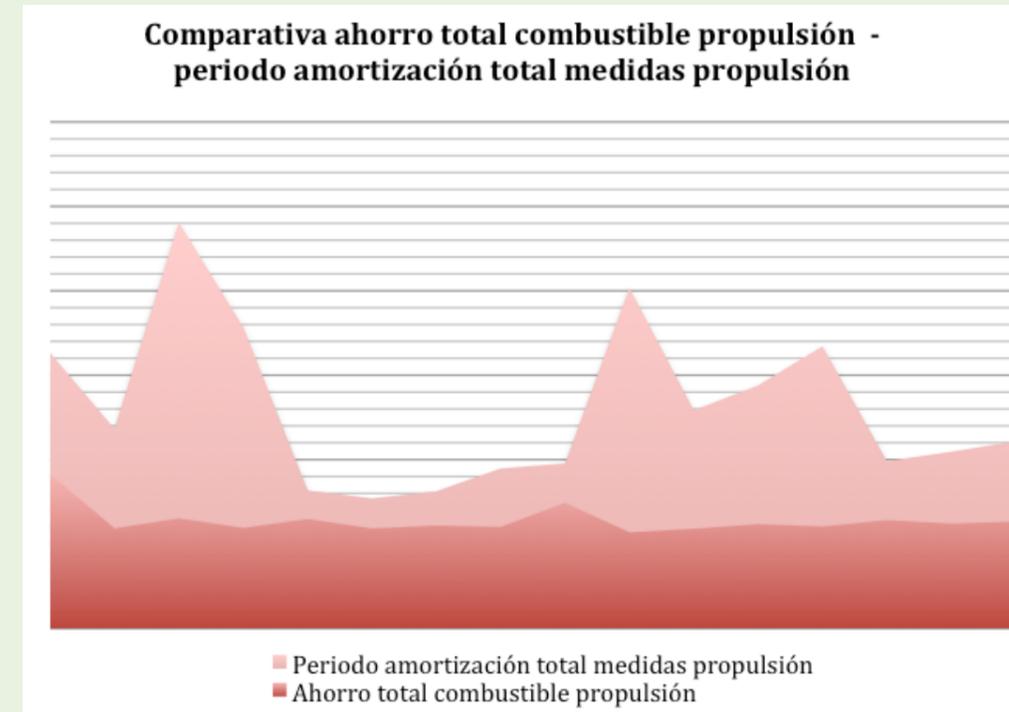


Fig. 191: Comparativa ahorro total combustible y periodo amortización total medidas propulsión.

Queda reflejado cómo los mayores periodos de amortización coinciden con los menores consumos totales, y los menores ahorros de combustible, así como con las mayores inversiones, y viceversa.

En algún caso, lo anterior no se cumple, pues estos gráficos no se pueden interpretar de manera independiente, más que como indicadores, puesto que los periodos de amortización dependen de la influencia conjunta de los tres factores estudiados.

• Ahorro total propuestas planta generadora

De igual forma, para las medidas de mejora referentes a la planta generadora, se obtienen los siguientes ahorros medios de combustible y periodos medios de amortización:

Medida	% Ahorro medio combustible	Periodo medio amortización
Tecnologías LED	0,55%	5,1
Variadores compresores	3,08%	3,6
Variadores ventiladores	1,06%	4,5
Cocina inducción	1,35%	4,0
Motor eléctrico tambor/ lanzadera	2,20%	
SHYMGEN	8,49%	6,2
PEM&S	5,00%	
TOTAL (media)	21,71%	

Tabla 31: Tabla resumen ahorros medios combustible y periodos medios amortización medidas planta generadora.

Según el buque, los ahorros totales obtenidos varían entre el 19 y el 25 %, con unos plazos de recuperación de la inversión, salvo un caso, de entre tres y seis años, en el supuesto de aplicar todas las medidas propuestas, y sin contar en el cálculo del periodo con los ahorros generados por el PEM&S, por la misma razón que se mencionó en el anterior apartado, ni con motor eléctrico para la maquinaria de pesca, cuyo cálculo de la inversión corresponde a una empresa especializada.

El siguiente gráfico nos muestra, sobre el total de ahorro de combustible producido en la planta generadora, el peso que tienen las diferentes propuestas:

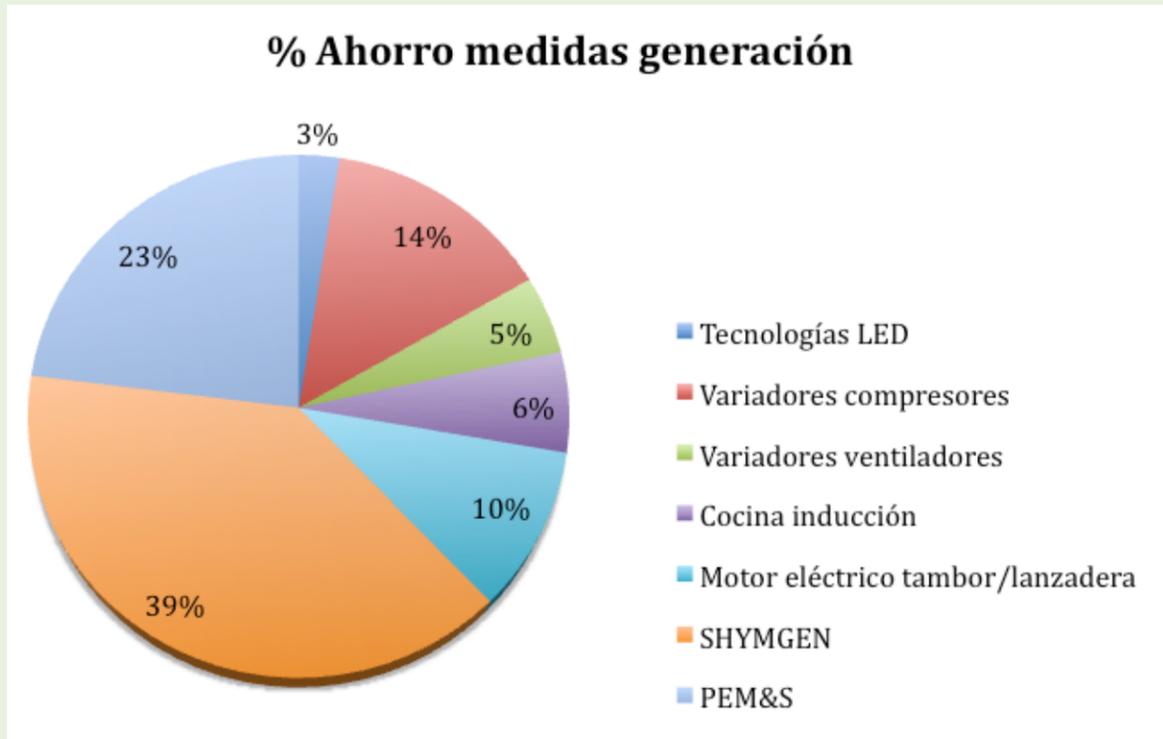


Fig. 192: Distribución % ahorro medio combustible medidas generación.

Las siguientes gráficas nos muestran las comparativas del periodo de amortización resultante de aplicar todas las propuestas con el consumo anual total de combustible en generación y con el ahorro total obtenido, para cada buque en estudio:

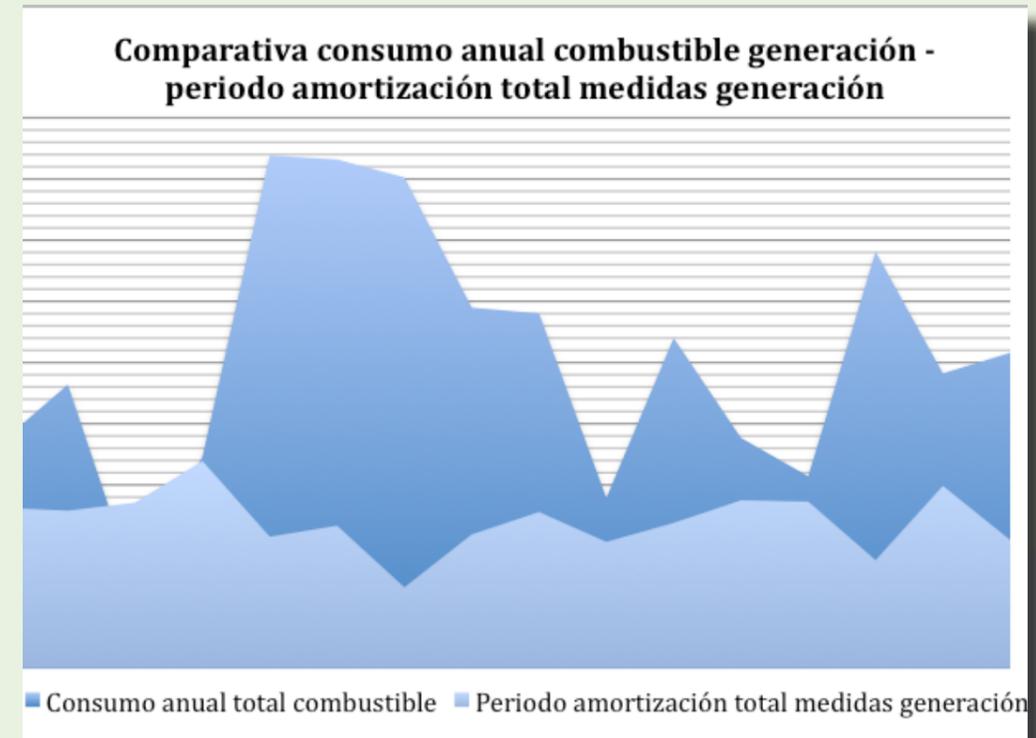


Fig. 193: Comparativa consumo anual de combustible y periodo amortización total medidas generación.

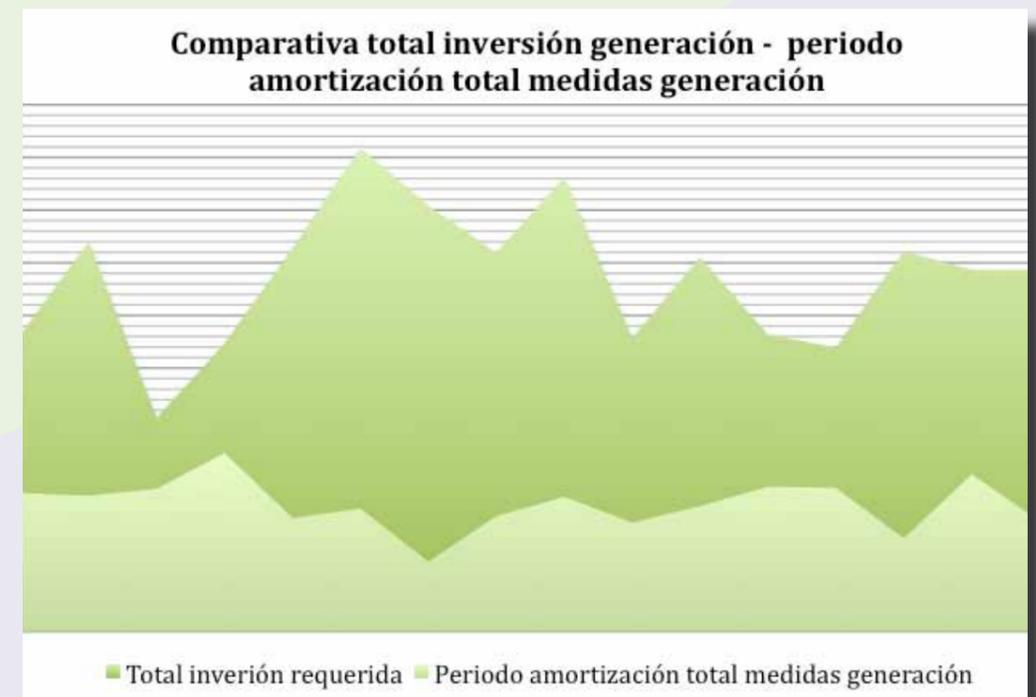


Fig. 194: Comparativa total inversión requerida y periodo amortización total medidas generación.

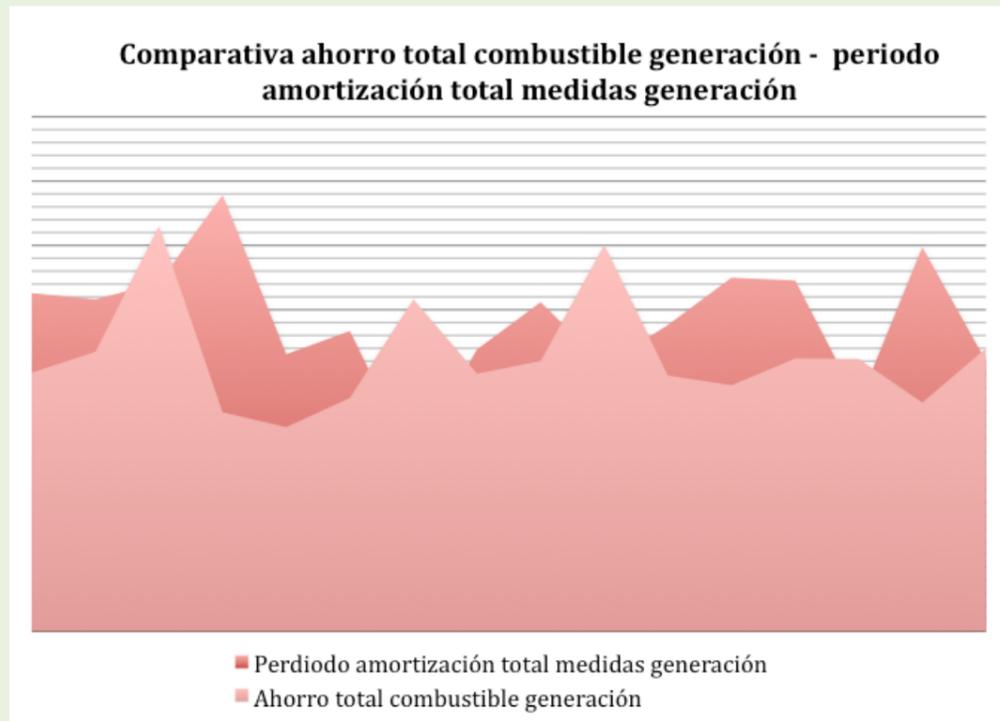


Fig. 195: Comparativa ahorro total combustible y periodo amortización total medidas generación.

De nuevo queda reflejado cómo los mayores periodos de amortización coinciden con los menores consumos totales, y los menores ahorros de combustible, así como con las mayores inversiones, y viceversa.

Y de nuevo se hace la misma consideración que se hacía en las medidas de la hidrodinámica y propulsión, respecto a los casos en que lo anterior no se cumple.

NOTA: Es importante indicar que en los cálculos realizados para obtener los ahorros totales de combustible por aplicación de todas las medidas propuestas, tanto en propulsión como en generación, se han sumado los ahorros alcanzados por cada medida, sin tener en cuenta la posible influencia mutua, que la aplicación de medidas de manera simultánea, pueda tener sobre los ahorros generados por las mismas.



• Tabla resumen combinación de propuestas

Para cada buque se realiza una tabla resumen en la que se proponen diferentes combinaciones de las medidas propuestas, aumentando en cada una de ellas la inversión total, hasta llegar a aplicarlas todas.

Durante el estudio se ha tomado un precio fijo del combustible, sin embargo en estas tablas se plantean tres escenarios diferentes para la evolución del precio del mismo:

- Precio Combustible 1: precio estable del combustible
- Precio Combustible 2: aumento anual de un 10 %
- Precio Combustible 3: aumento anual de un 20 %

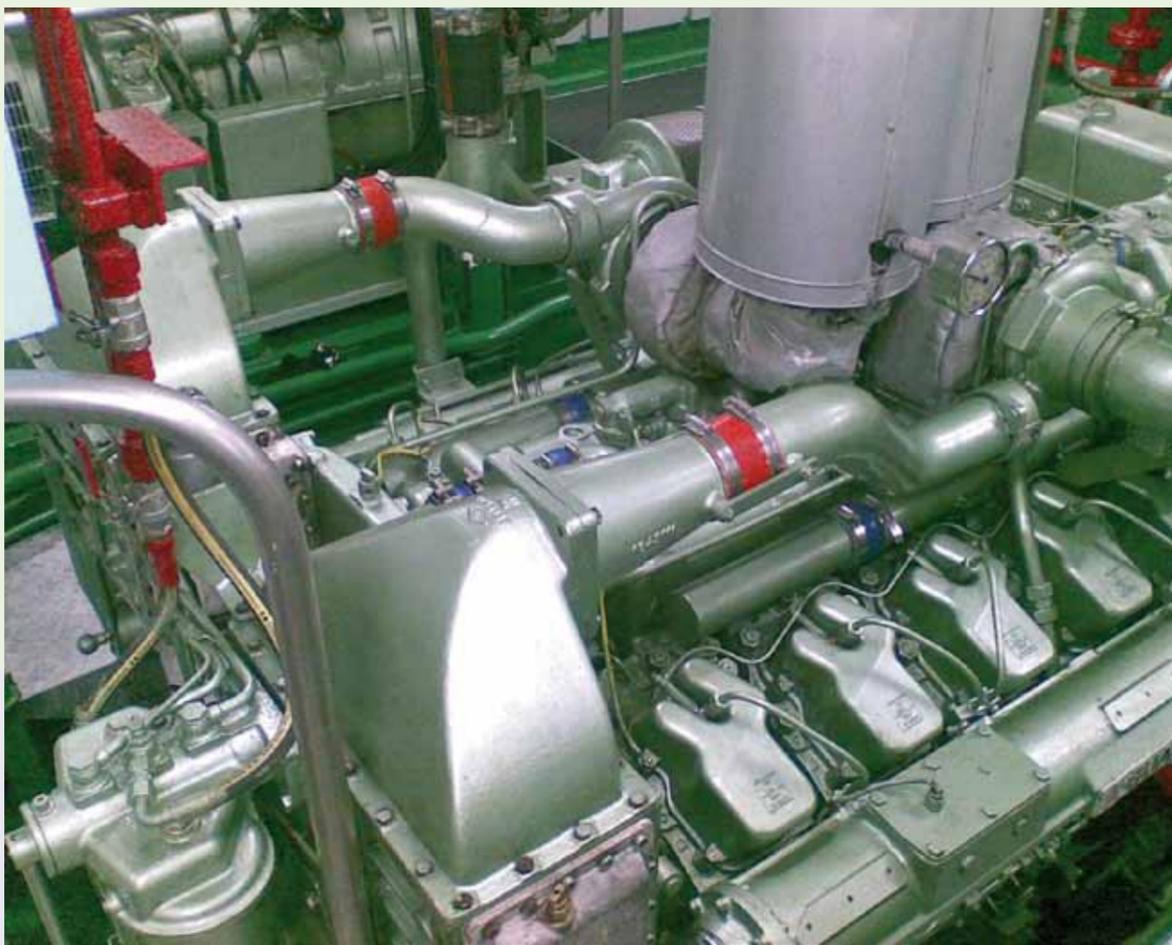
Además, para cada uno de los escenarios de precio de combustible, se plantea un tipo de interés bajo tres supuestos:

- Tipo 1: interés del 4 % estable.
- Tipo 2: aumento anual de 0,5 puntos.
- Tipo 3: aumento anual de 1,5 puntos.

No se incluye en la tabla la medida de utilización del optimizador de rutas, la reducción de velocidad, ni el motor eléctrico para la maquinaria de pesca, debido a las razones ya mencionadas.

(Página siguiente) Tabla 32: Tabla resumen combinación de propuestas.

Tecnologías	Coste inversión	Propuesta 1			Propuesta 2			Propuesta 3			Propuesta 4							
		Inversión €	Reducc. Pot. Prop.	Reducc. Pot. Generac. (l)	Ahorro anual (l)	Inversión €	Reducc. Pot. Prop.	Reducc. Pot. Generac. (l)	Ahorro anual (l)	Inversión €	Reducc. Pot. Prop.	Reducc. Pot. Generac. (l)	Ahorro anual (l)					
Hidrodinámica	Apéndices	10.000 €		x									x					
	Pintura	32.200 €	x										x					
	Bulbo(mod) Corr.	130.000 €											x					
	Impresas	14.000 €											x					
	Hélice(mod)	12.000 €											x					
Propulsión	Pulido hélice	1.000 €	x															
	Timón	40.000 €											x					
	Variadores Compr.	18.000 €		x									x					
Generación y consumo	LEDs	6.300 €		x									x					
	Cocina inducción	7.500 €		x									x					
	Shymgen	90.000 €											x					
	Variadores Vent.	6.000 €											x					
Otros	Caudalímetros	5.000 €											x					
	PEMS	35.000 €											x					
		62500	7%	8%	70562	132500	12%	9%	101278	293200	19%	13%	156821	393500	25%	16%	209463	
TIEMPOS DE RECUPERACIÓN (AÑOS)	PRECIO COMB. 1	TIPO 1	1	2	3													
		TIPO 2	1	2	3													
		TIPO 3	1	2	3													
	PRECIO COMB. 2	TIPO 1	1	1	2	2												
		TIPO 2	1	1	2	2												
		TIPO 3	1	1	2	3												
	PRECIO COMB. 3	TIPO 1	1	1	1	2												
		TIPO 2	1	1	1	2												
		TIPO 3	1	1	1	2												



6. ESTUDIO DEL GRUPO 2

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA

Mediante la realización de un estudio preliminar de este grupo, se llega a la conclusión de que muchas de las medidas propuestas para el Grupo 1, no son aplicables en este caso, bien por motivos técnicos, bien por motivos económicos.

Aunque esto ocurre en algunas de las medidas correspondientes a la hidrodinámica y propulsión del buque, afecta principalmente a las medidas correspondientes a la generación. El consumo producido por la planta generadora representa un porcentaje muy pequeño del total de consumos a bordo. Por otro lado en este tipo de buques el consumo anual de combustible no llega en ningún caso a los 150.000 litros.

Teniendo en cuenta que el precio de la inversión necesaria para llevar a cabo cada medida no es proporcional al tamaño del buque, se entiende que los periodos de amortización necesarios son tan elevados, que estas medidas son directamente desestimadas.

Es importante indicar que el proceso de recogida de datos se enfocó en los datos necesarios para la realización de las auditorías energéticas, y por tanto no se hizo un especial hincapié en el estudio de la generación y consumidores a bordo, si no que el estudio se centró en la propulsión y en la propuestas de mejora encaminadas a reducir su consumo.

6.1.1. Características y dimensiones principales

• Dimensiones principales

Las dimensiones principales dentro de este grupo de buques varían significativamente encontrándose esloras entre perpendiculares, Lpp, de entre 9,5 a 19,5 m, mangas de trazado, B, de entre 3,5 y 6,5 m y calados de trazado, T, de entre 1,0 y 3,0 m.

Las siguientes gráficas muestran las distribuciones de los valores que toman las dimensiones principales de estos buques:

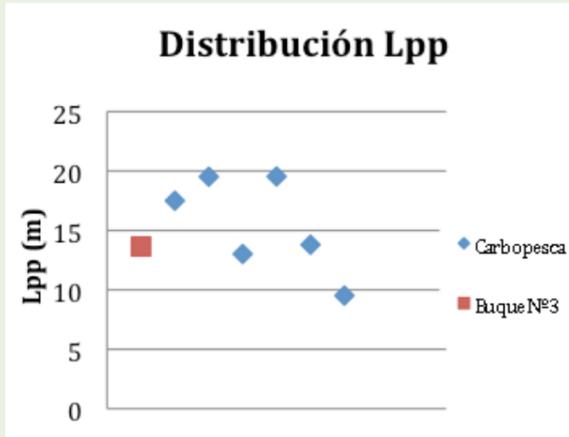


Fig. 196: Distribución Lpp (m).

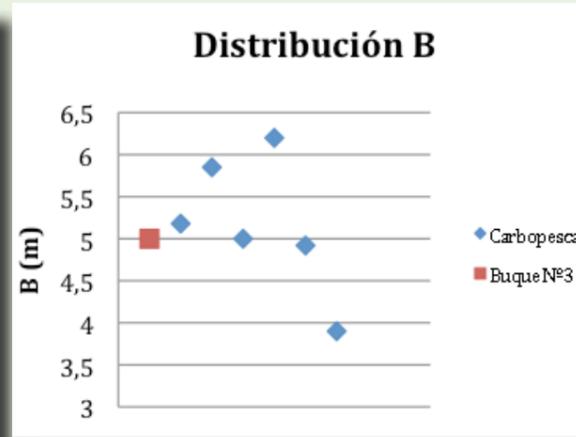


Fig. 197: Distribución B (m).

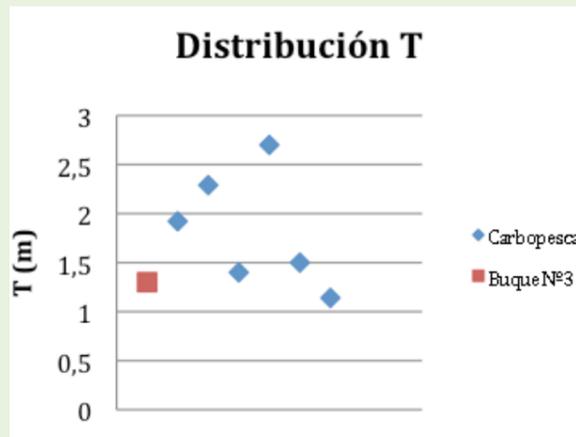


Fig. 198: Distribución T (m).

• Formas del buque

Aunque la variación entre dimensiones principales en estos buques es significativa, sí que se encuentra una gran homogeneidad en lo que respecta a las formas; esto puede observarse a partir de las relaciones adimensionales entre dimensiones principales de los buques.

La relación adimensional Lpp/B varía entre 2,5 y 3,5, aproximadamente, aumentando dicha relación con el tamaño del buque. Respecto de la relación Lpp/T, que toma valores entre 7,0 y 10,5, no se encuentra una tendencia clara entre la misma y el tamaño de los buques en estudio. Por su parte la relación B/T toma valores entre 2,5 y 4, disminuyendo, en este caso, con el aumento del porte del buque.

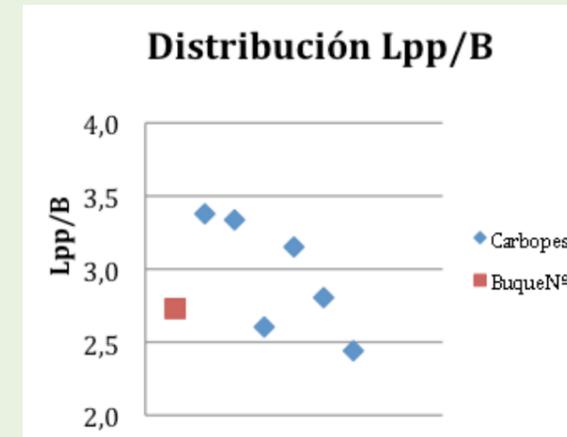


Fig. 199: Distribución relación adimensional Lpp/B.

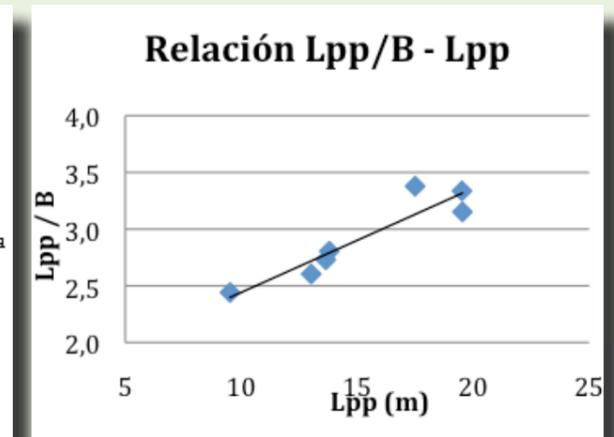


Fig. 200: Relación Lpp/B - Lpp (m).

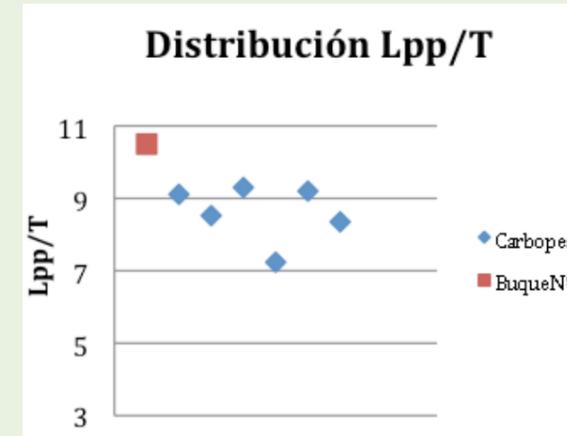


Fig. 201: Distribución relación adimensional Lpp/T.

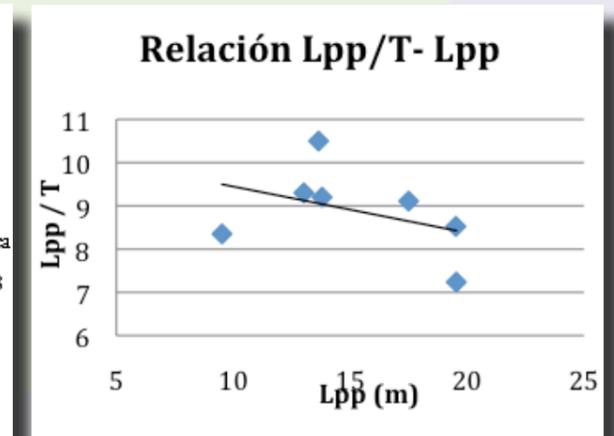


Fig. 202: Relación Lpp/T - Lpp (m).

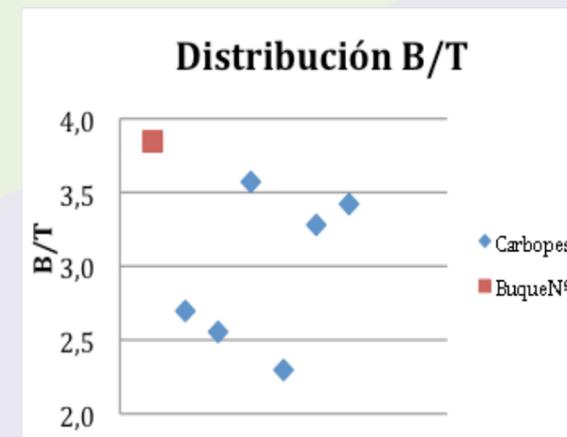


Fig. 203: Distribución relación adimensional B/T.

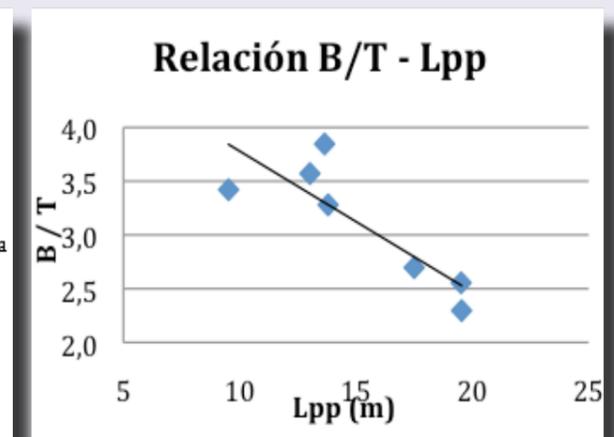


Fig. 204: Relación B/T - Lpp (m).

La citada homogeneidad en cuanto a las formas de este grupo de buques también se pone de relieve al estudiar la distribución de los coeficientes adimensionales de formas, C_b , C_m , C_f y C_p :

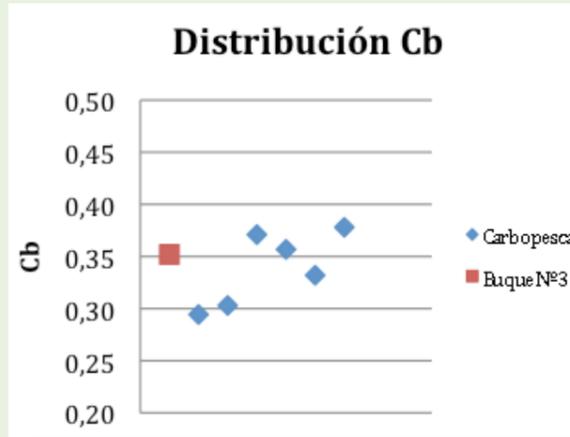


Fig. 205: Distribución coeficiente de bloque, C_b .

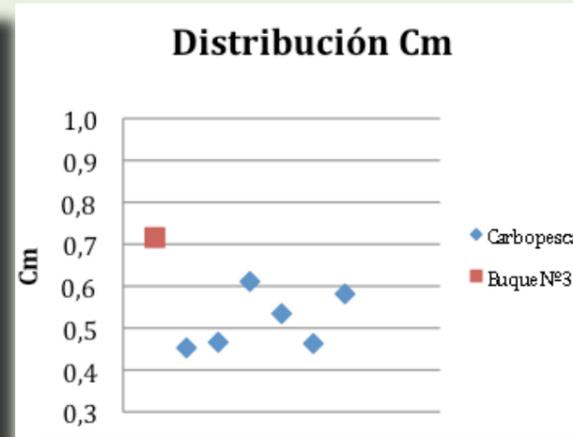


Fig. 206: Distribución coeficiente de la maestra, C_m .

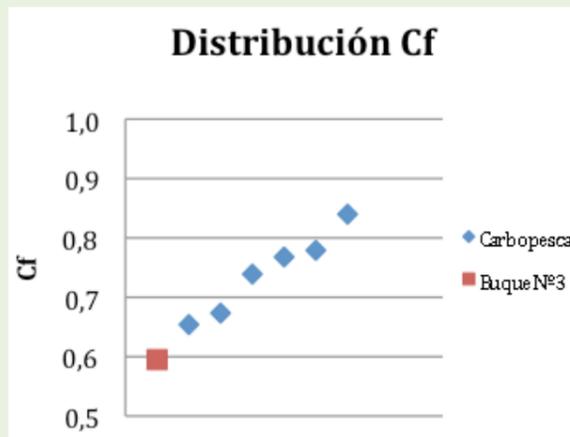


Fig. 207: Distribución coeficientes de flotación, C_f .

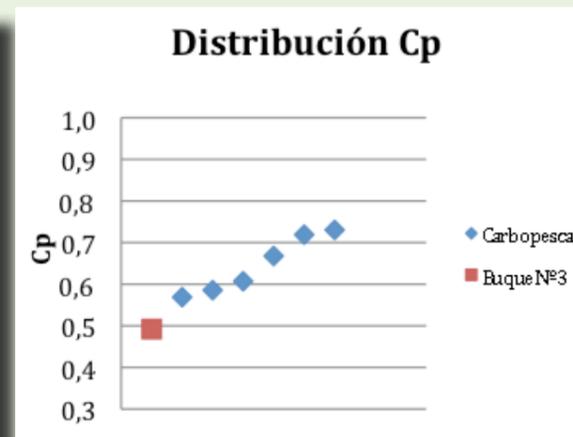


Fig. 208: Distribución coeficientes prismáticos, C_p .

Como vemos estos coeficientes son significativamente más bajos que en la flota correspondiente al Grupo 1, en ese caso los coeficientes de bloque se encontraban entre 0,55 y 0,70, buscando un mayor volumen de carga y de combustible, para poder realizar mareas más largas. En este caso los valores están en la franja, 0,3 - 0,4, al realizar estos buques mareas más cortas, faenando al día, el interés no se centra en ganar autonomía y volumen de carga, sino que se busca disminuir la resistencia al avance para una misma velocidad, y con ello, la potencia de propulsión, o alcanzar mayores velocidades para una misma potencia.

Finalmente cabe destacar respecto a las formas de proa que sólo dos de los buques estudiados, los Nº 22 y 25, tienen bulbo.



Fig. 209: Buque con bulbo de proa y buque sin bulbo.

Respecto a la popa, todos los buques tienen popas de espejo:



Fig. 210: Popa espejo.

• Desplazamiento y capacidades

Las distribuciones de los desplazamientos y arqueos brutos de los buques en estudio son las siguientes:

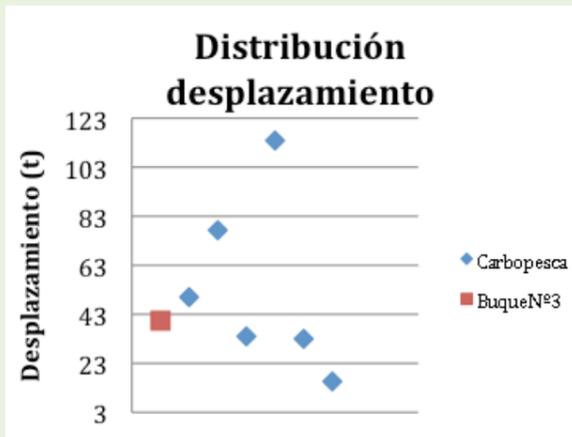


Fig. 211: Distribución desplazamiento (t).

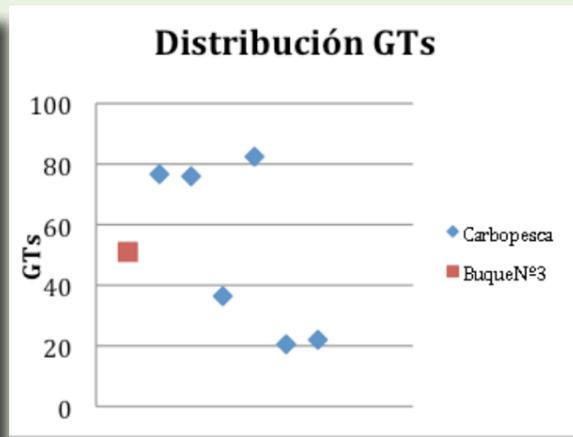


Fig. 212: Distribución arqueo bruto (GTs).

Se encuentra una relación lineal bastante marcada entre el desplazamiento y la manga y el calado de los buques, no tanto con la eslora entre perpendiculares y el arqueo bruto:

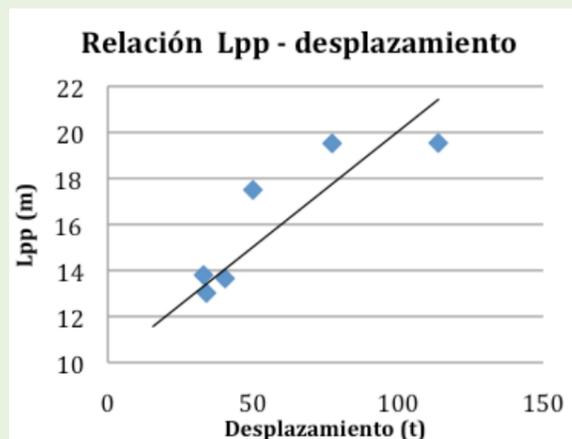


Fig. 213: Relación Lpp (m) - desplazamiento (t).

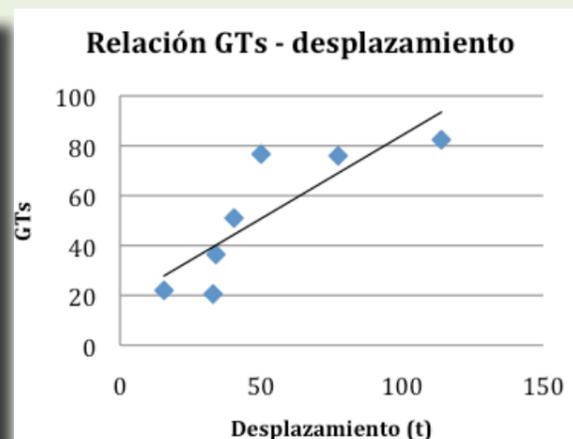


Fig. 214: Relación arqueo bruto (GTs) - desplazamiento (t).

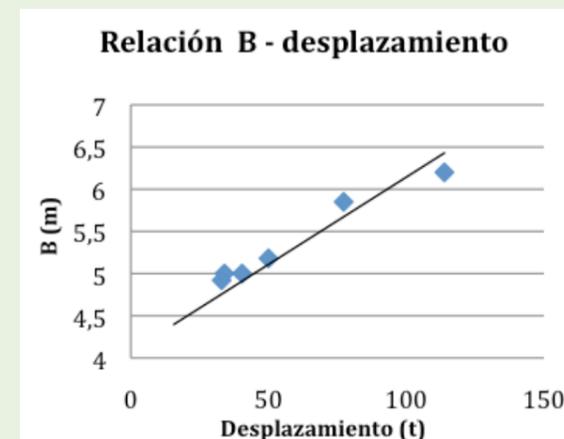


Fig. 215: Relación B (m) - desplazamiento (t).

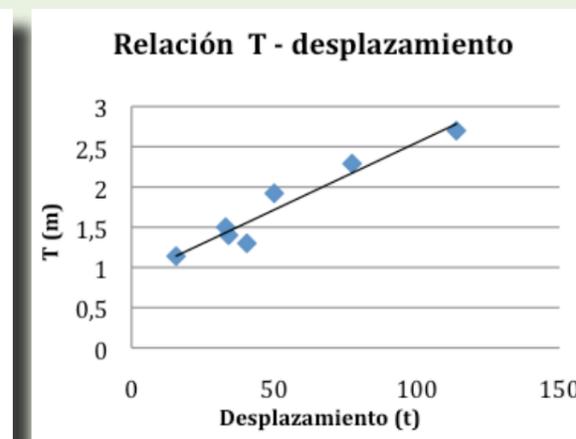


Fig. 216: Relación T (m) - desplazamiento (t).

Estas dos últimas relaciones ya se podían prever a raíz del gran parecido entre las distribuciones de desplazamientos y mangas y calados.

Las siguientes gráficas nos muestran las distribuciones de las capacidades de bodegas y combustible, así como su relación con el desplazamiento del buque, viéndose la acusada relación lineal existente entre ellos:

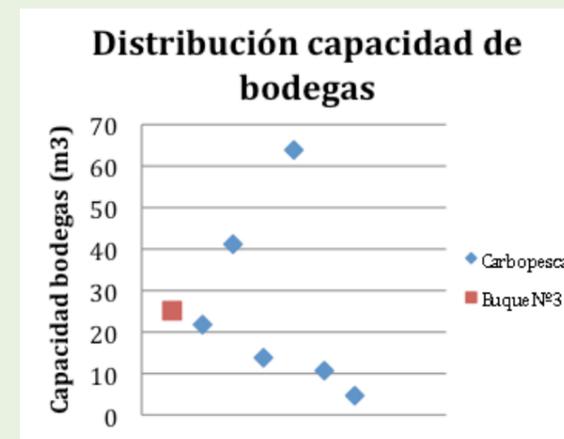


Fig. 217: Distribución capacidad de bodegas (m3).

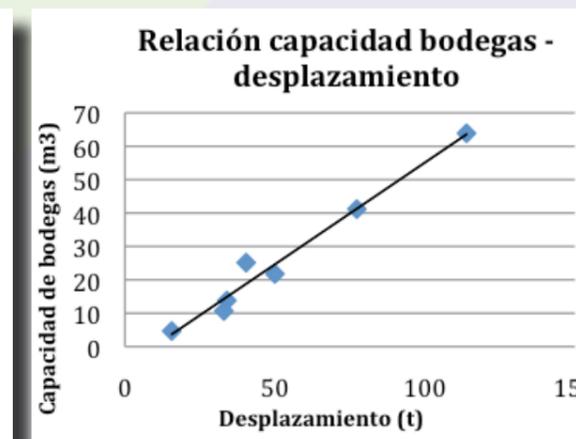


Fig. 218: Relación capacidad bodegas (m3) - desplazamiento (t).

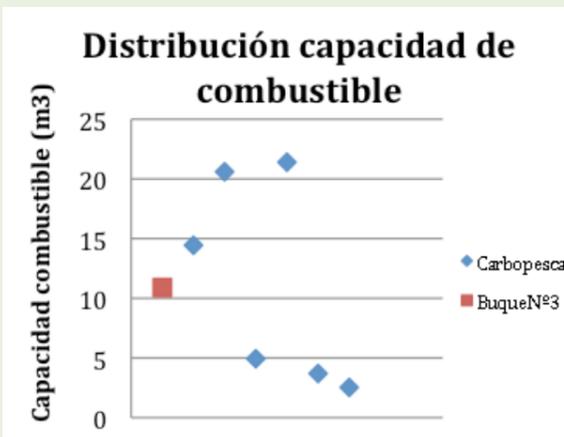


Fig. 219: Distribución capacidad de combustible (m3).

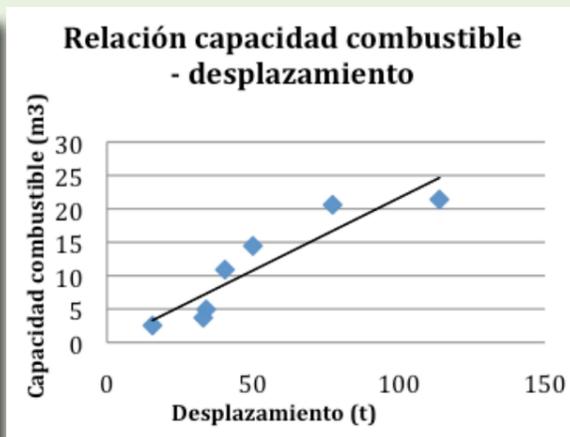


Fig. 220: Relación capacidad combustible (m3) - desplazamiento.

De nuevo se podían prever estas relaciones bastante marcadas a raíz del gran parecido entre las distribuciones de capacidades y de desplazamientos. De igual manera, se encuentran relaciones lineales bastante marcadas entre dichas capacidades y las mangas y calados de los buques.

Respecto a la distribución de la superficie mojada y a su relación con el desplazamiento, se obtienen las siguientes gráficas:

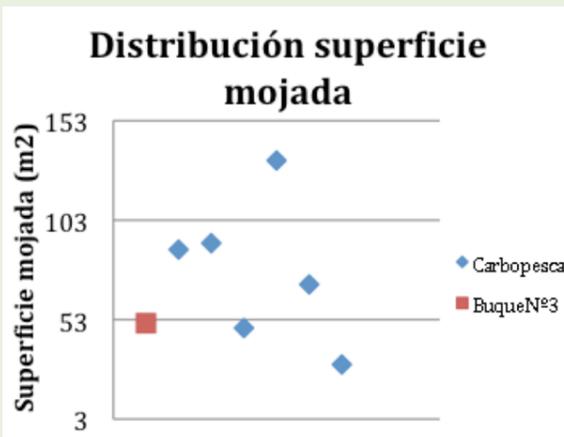


Fig. 221: Distribución superficie mojada (m2).

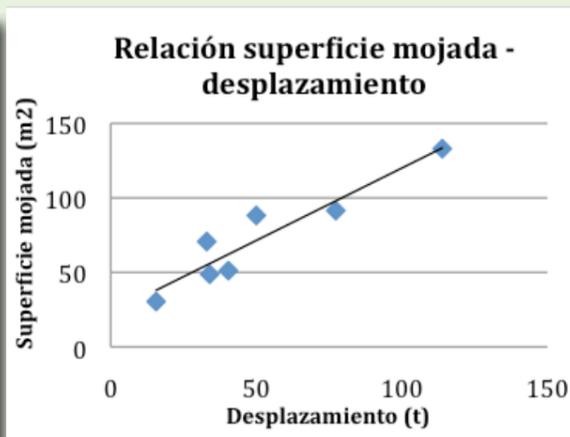


Fig. 222: Relación superficie mojada (m2) - desplazamiento (t).

De nuevo nos encontramos con una distribución similar a la de desplazamientos, y por ello la marcada relación lineal existente, relación encontrada, por tanto, también con las mangas, calados y capacidades de los buques.

6.1.2. Motores y equipos a bordo

Toda la flota monta el mismo esquema, un solo motor diesel de velocidad variable, como motor principal que se une, a través de un acoplamiento elástico, a un reductor-inversor, y una sola hélice.

Las diferentes condiciones de operación del buque se realizan a velocidades relativamente próximas, de forma que el ajuste de una a otra se realiza simplemente variando las revoluciones del motor.

De nuevo se debe hacer referencia que los buques se construyeron en otra época y se puede decir que la prestación fundamental buscada a la hora de seleccionar el motor principal era la potencia de propulsión.

La siguiente tabla recoge las marcas de los motores principales que montan los buques en estudio, así como las rpm y potencias nominales; éstas últimas vienen dadas en porcentaje de la potencia nominal del buque N° 23, la mayor, de esta manera podemos apreciar mejor las diferencias. La tabla también recoge las relaciones de reducción de la reductora, así como las rpm nominales a las que trabaja la hélice:

Nº Buque	3	22	23	24	25	26	27
Marca / modelo	Volvo Penta	Caterpillar	Caterpillar	Cummins	Scania	Scania	Daewoo
% Potencia buque N° 23	56%	76%	100%	89%	49%	58%	62%
rpm motor	1800	2200	1800	1800	1800	1500	2100
Relación de reducción	4,90	4,00	4,95	4,92	2,96	4,00	3,00
rpm hélice	367	550	364	366	609	375	700

Tabla 33: Tabla resumen: marca, % potencia y rpm nominales del motor principal, relación de reducción y rpm hélice.



Fig. 223: Motor principal.

Se trata de buques con una sola línea de ejes y que montan hélices convencionales, de 4 ó 5 palas, de paso fijo, FPP. Los timones son también timones convencionales, con perfiles NACA simétricos.

La maquinaria de pesca de cubierta, se mueve mediante una central hidráulica, la bomba hidráulica de la misma, así como otras bombas de a bordo, son movidas, en general, por el principal.

La mayoría de los buques llevan máquinas de hielo para la conservación de la pesca, pues al realizar mareas de corta duración, no es necesario la congelación de la misma, sin embargo en algunas ocasiones, sobre todo en los buques de mayor porte, con capacidad de realizar mareas algo más largas, los buques se equipan con un congelador. También en algunas ocasiones los buques muy pequeños ni siquiera cuentan con instalación de frío.

Los buques cuentan, en general, con dos motores auxiliares cuyas potencias, en los buques más pequeños, suelen ser menores de 5 kW; en estos buques los auxiliares apenas se utilizan. En los buques algo mayores, pueden llegar a los 50 kW, utilizándose cuando hay pesca y las instalaciones de frío entran en funcionamiento.

El resto de la generación eléctrica, se realiza mediante un generador de cola acoplado al motor principal, a excepción del buque N° 24 que no cuenta con un cola, y por tanto toda la generación eléctrica se realiza con los auxiliares.

6.1.3. Perfil operativo

En estos buques no se instaló a bordo el RV, luego la obtención de los perfiles operativos se ha realizado en base a los datos aportados por los buques.

La forma general de faenar de este tipo de buques es navegar hasta el caladero, unas 3 - 4 horas, largar el aparejo, operación que dura entre 4 y 5 horas, esperar unas horas y virar, 15 - 20 horas, para finalmente volver a puerto a descargar. Se encuentra que en este tipo de buques, rara vez se realizan operaciones de chicoteo. En los buques que realizan mareas algo más largas, las operaciones son las mismas, sólo que después de una virada se vuelve a faenar de nuevo, puesto que las mareas duran varios días; sólo uno de los buques en estudio, el N° 24, realiza este tipo de operativa, por lo que se estudiará por separado.

De todos los buques en estudio, a excepción del buque N° 24, se obtiene el siguiente perfil operativo tipo:

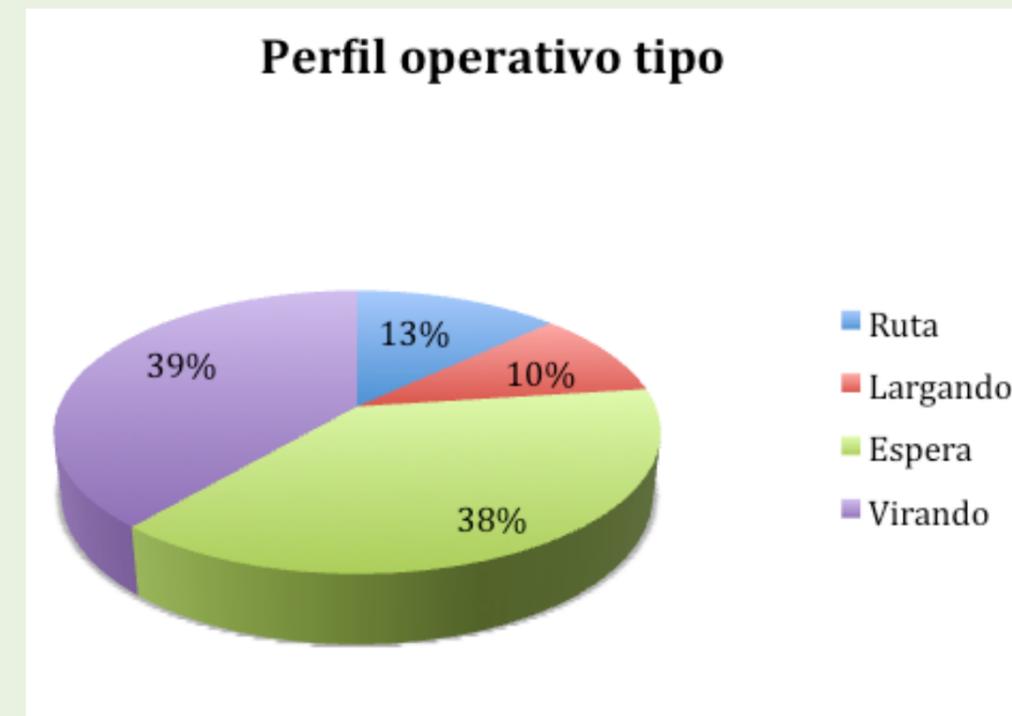


Fig. 224: Perfil operativo tipo.

NOTA: En la condición de espera, se incluyen los tiempos de espera entre las operaciones de largada y virada, las estancias en puerto entre mareas, para descarga de la pesca, así como los tiempos de espera en puerto.

Para el buque N° 24 se obtiene el siguiente perfil operativo:

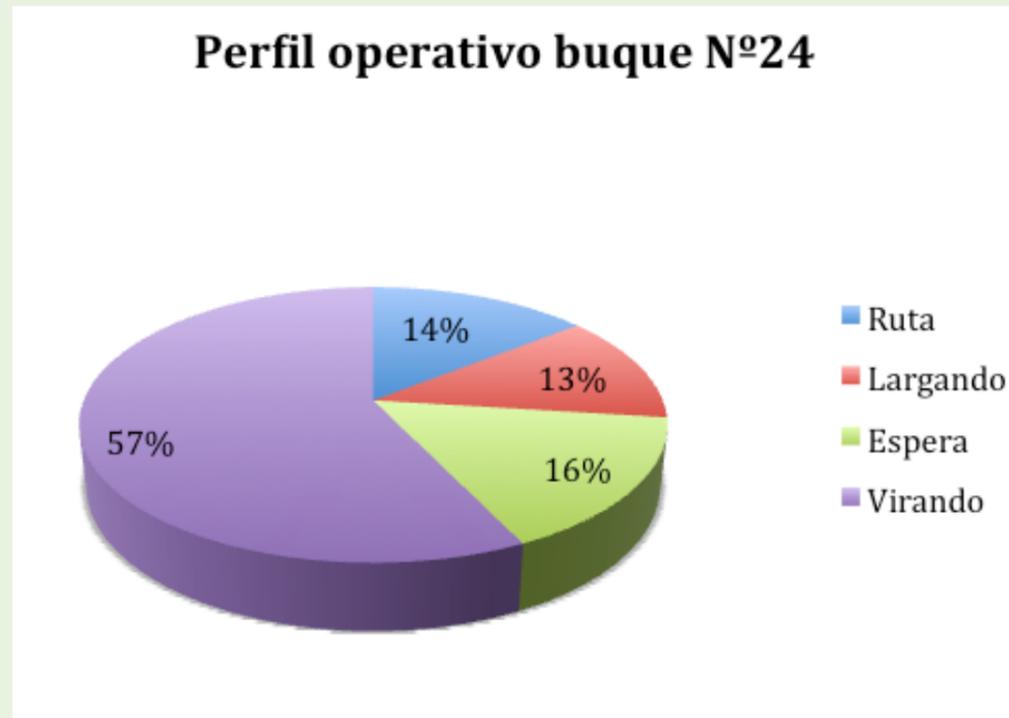


Fig. 225: Perfil operativo tipo buque N°24.

En este tipo de operativa disminuyen los tiempos en puerto, pues se realizan descargas menos a menudo, a costa de ello aumentan los porcentajes del resto de condiciones de operación.

• **Mareas**

Los datos recogidos respecto a número de mareas y duración de las mismas quedan reflejados en la siguiente tabla:

	3	22	23	24	25	26	27
Nº Mareas	10	5	5	5	5	10	10
Duración	20	40-60	40-50	40-60	20-40	20	20

Tabla 34: Tabla resumen de número y duración de las mareas.

La duración de dichas mareas se refiere al total de días de faena consecutivos, sin embargo las mareas propiamente dichas tienen una menor duración.

La mayoría de ellos sólo puede pescar en el Mediterráneo, y realiza salidas de duración comprendida entre un día y día medio, vuelven a puerto, descargan la pesca realizada y vuelven a salir a faenar.

Otros también pueden pescar en caladero nacional hasta 80 millas, estos son los de mayor porte, y pueden realizar mareas de entre 10 y 15 días. Este tipo de operativa es la realizada por el buque N° 24.

• **Perfil de velocidades**

Las velocidades de los buques durante las condiciones de navegación y largado son las siguientes:

Nº Buque	3	22	23	24	25	26	27
Navegación (kn)	8,5	9,0	8,5	9,0	8,5	9,0	7,0
Largando (kn)	8,5	9,0	8,5	9,0	8,5	8,0	6,5
Fn (navegación)	0,37	0,35	0,32	0,40	0,39	0,33	0,38

Tabla 35: Tabla resumen velocidades de navegación y largado y Nº Froude de la condición de navegación.

Como se puede observar la maniobra de largado se realiza, prácticamente en todos los casos, a la misma velocidad que la navegación, en caso contrario, las diferencias encontradas no superan el nudo.

Como en el análisis del Grupo 1, la anterior tabla no refleja las velocidades durante la condición de virada, pues esta maniobra no se realiza a una velocidad dada, sino que el buque avanza y para constantemente, mientras va recogiendo el aparejo con la pesca.

Los números de Froude encontrados corresponden a buques relativamente rápidos, lo que es lógico debido a la manera de faenar de estos buques, al ir y volver a puerto tan a menudo, la reducción de los tiempos de navegación es muy importante. En los buques rápidos es la resistencia por formación de olas la que más peso tiene sobre el total de la resistencia al avance, de esta manera sería lógico pensar en el bulbo de proa como medida de reducción de dicha resistencia, sin embargo sólo dos de los buques cuentan con bulbo de proa.

• **Consumo de combustible**

Los consumos anuales de combustible van desde los 30.000 litros, para los buques de menor porte, hasta los 130.000 litros, para los de mayor porte.

6.2. MEDICIONES REALIZADAS A BORDO

Se realizan mediciones de potencia en el motor principal en los seis buques de Carboneras, y en algún caso, mediciones de consumos, sin embargo no se realizan mediciones de la composición de los gases de escape. No se extenderá en la explicación de este apartado, pues tanto los equipos utilizados, como la metodología y la manera de realizar las mediciones, son iguales que las realizadas en el Grupo 1.

6.3. ESTUDIO HIDRODINÁMICO

De igual manera que en el apartado anterior no se explicará con detenimiento este estudio, pues tanto los programas utilizados para el mismo, como las simulaciones realizadas y la metodología de las mismas, son iguales que en el estudio hidrodinámico del Grupo 1.

Los resultados encontrados vuelven a dejar patente la falta de un diseño adecuado, a nivel de proyecto inicial del buque, en lo que se refiere al conjunto hélice-timón, y formas de la carena. De nuevo encontramos estelas muy desiguales, hélices y timones con diseños no adaptados al flujo

de agua en el que trabajan y a las condiciones de operación del buque, así como formas de la carena no optimizadas.

6.4. ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA PROPULSORA

• Perfil de potencias del motor principal

Del cómputo global de estudios realizados en los diferentes buques, se obtiene el siguiente perfil tipo de carga del motor principal, según la condición de operación del buque:

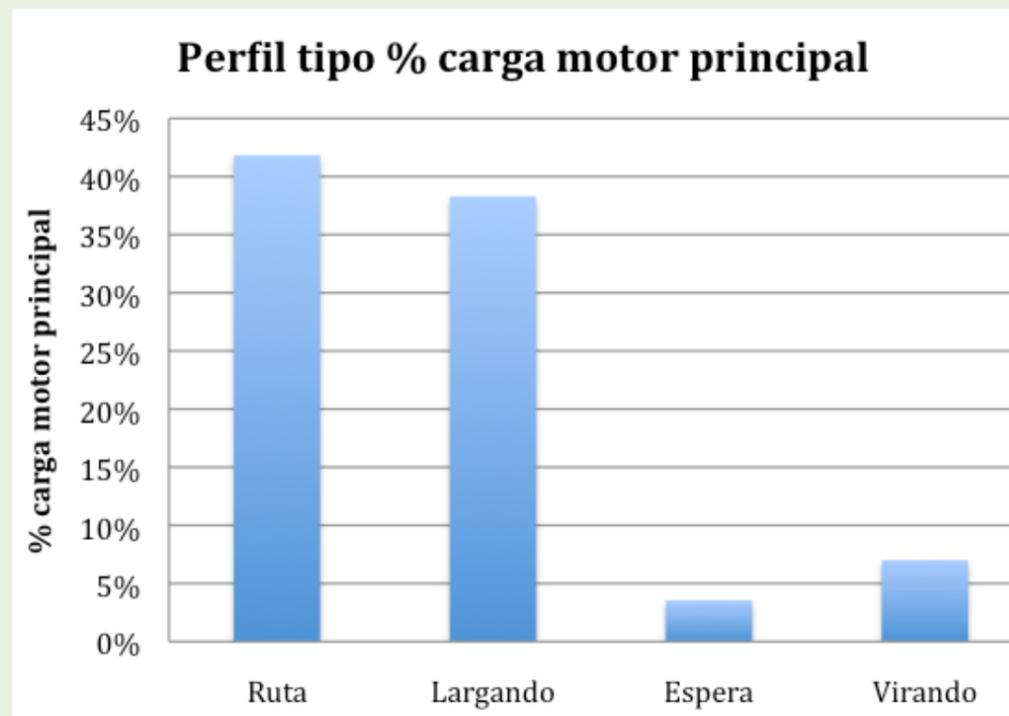


Fig. 226: Perfil tipo % carga motor principal según condición de operación.

Las potencias reflejadas en la gráfica anterior, son las obtenidas en el eje durante las mediciones, más las que se estiman para el cola y las demás bombas acopladas al motor principal.

Como era de esperar las mayores potencias de propulsión se corresponden con las condiciones de operación que se realizan a mayores velocidades, condiciones de ruta y largado.

Lógicamente la menor potencia demandada se da en la condición de buque parado (mantenimiento de posición). Las operaciones de virado se realizan a muy bajas velocidades, por ello su demanda de potencia de propulsión también es reducida.

Al ser los consumos directamente proporcionales a la potencia desarrollada por el motor, la gráfica que representa el perfil tipo de consumo en litros/hora, tiene la misma forma que la anterior, y las mismas consideraciones que se hacían sobre las mayores o menores potencias de propulsión son directamente extrapolables a los mayores o menores consumos en l/h.

NOTA: Para la realización de la anterior gráfica no se tiene en cuenta el buque N° 24, que no cuenta con generador de cola, y su demanda eléctrica es cubierta con los auxiliares, pues desvirtuaría los resultados obtenidos. En cualquier caso el perfil de potencia apenas cambia, simplemente disminuyen un poco las cargas del motor principal, al no haber un generador de cola, pero al ser las potencias eléctricas demandadas muy bajas, dicha disminución no es significativa.

• Condiciones de trabajo del motor principal

Haciendo referencia a la última gráfica presentada, podemos observar que los motores funcionan de manera habitual por debajo del 40 % de su potencia nominal, es decir muy lejos de su punto óptimo de trabajo, punto que dependiendo del motor en concreto, suele estar en torno al 70 – 80 %.

Lo más lógico, en estos casos, sería dimensionar el motor de manera que operase en su punto óptimo durante las condiciones de ruta y largado, con una demanda de potencia similar, y que juntas representan casi el 25 % del tiempo total de la operativa del buque. Aunque en estos buques las operaciones de virado ocupan alrededor del 40% del tiempo de operación del buque, no se podría dimensionar el principal para esta condición, pues en este caso no sería capaz de proporcionarnos las potencias requeridas durante el resto de operaciones.

El perfil tipo de consumos específicos en los buques estudiados se representa en la siguiente gráfica:

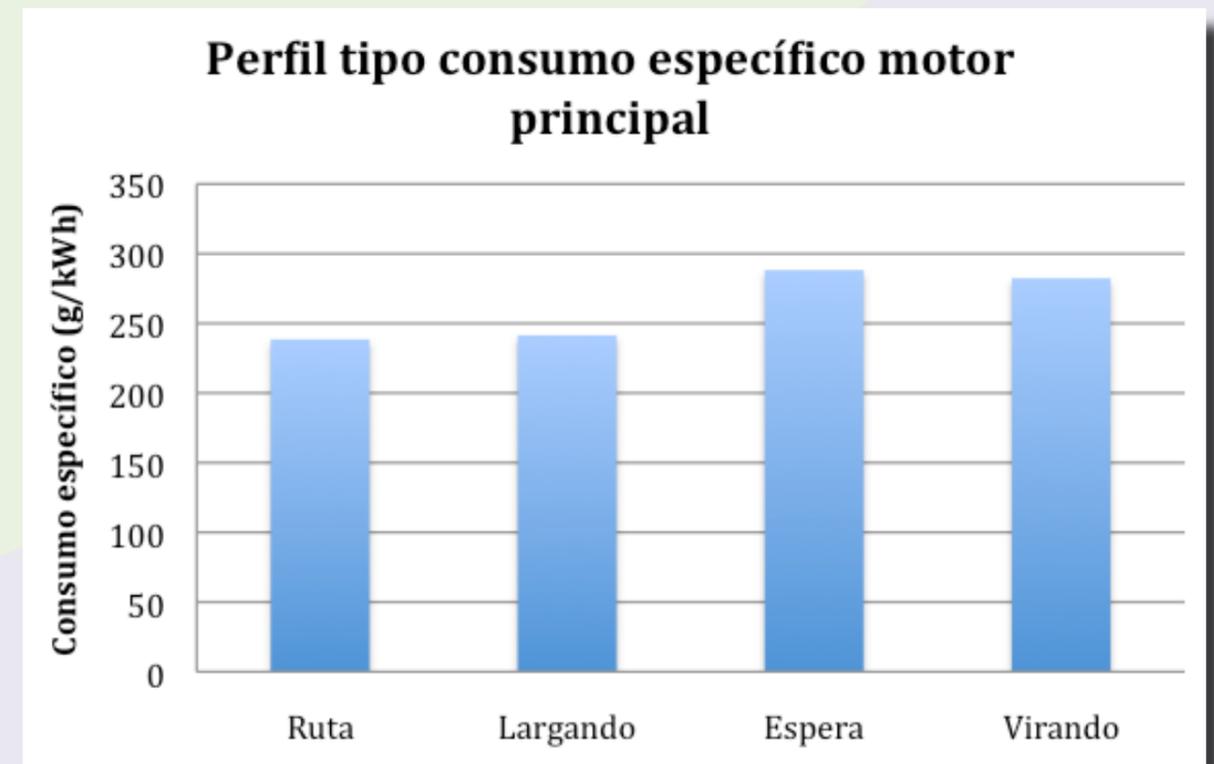


Fig. 227: Perfil tipo consumo específico (g/kWh) motor principal según condición de operación.

Los mayores consumos específicos se dan en las condiciones de buque parado y virando (motor principal al 0 - 10%), condiciones con una menor demanda de potencia de propulsión.

En las condiciones de navegación y largado, la carga del motor aumenta, encontrándose por encima del 35 %, disminuyendo por tanto los consumos específicos.

En cualquiera de los casos los motores trabajan a cargas bastante alejadas de la franja del 70 - 80 %, se evidencia así, que la gran mayoría de ellos están sobredimensionados en cuanto a las necesidades de propulsión del buque, y por tanto el motor consume más combustible del necesario.

6.5. PERFIL DE CONSUMOS

Sobre el consumo total de la planta propulsora del buque, se obtiene como resultado de todos los buques estudiados, a excepción del buque N°24, la siguiente gráfica tipo, que nos muestra el tanto por ciento de consumo durante cada condición de operación:

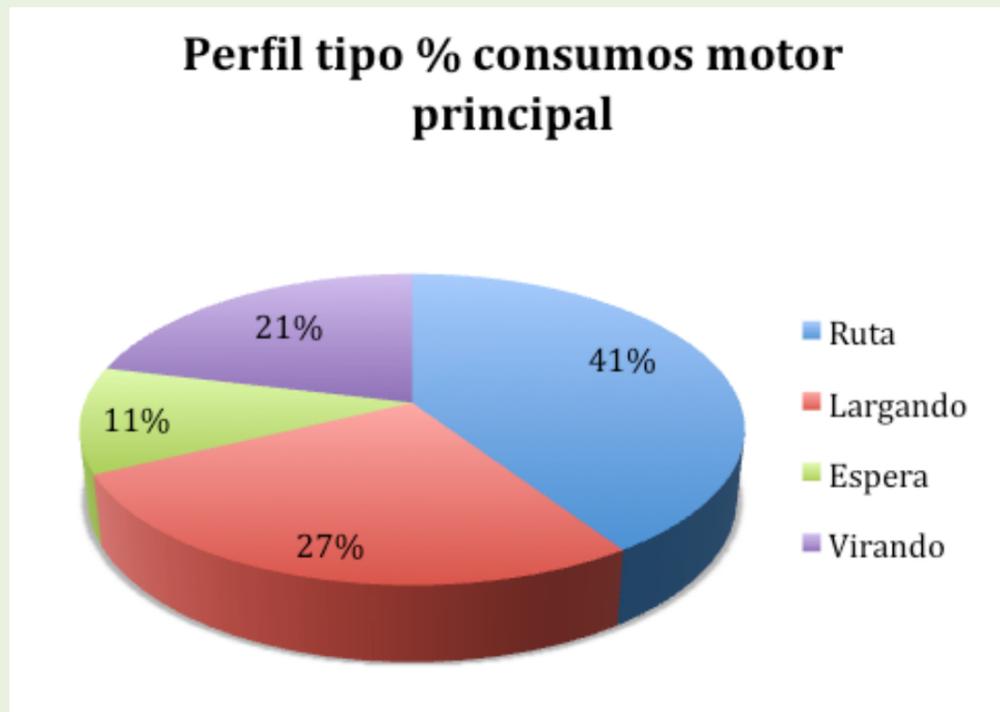


Fig. 228: Perfil tipo consumos totales motor principal según condición de operación.

Como cabía esperar los mayores consumos totales se dan en las condiciones de ruta y largado, al ser las que mayores potencias consumen, y al representar alrededor de casi un 25 %, en conjunto, sobre el tiempo total de la campaña.

También tiene un peso significativo la condición de buque virando, pues a pesar de demandar una potencia inferior a las anteriores condiciones, es a la que mayor tiempo dedica el buque, alrededor de un 40% del tiempo total de la campaña.

Para el buque N° 24 se obtiene el siguiente perfil de consumos:

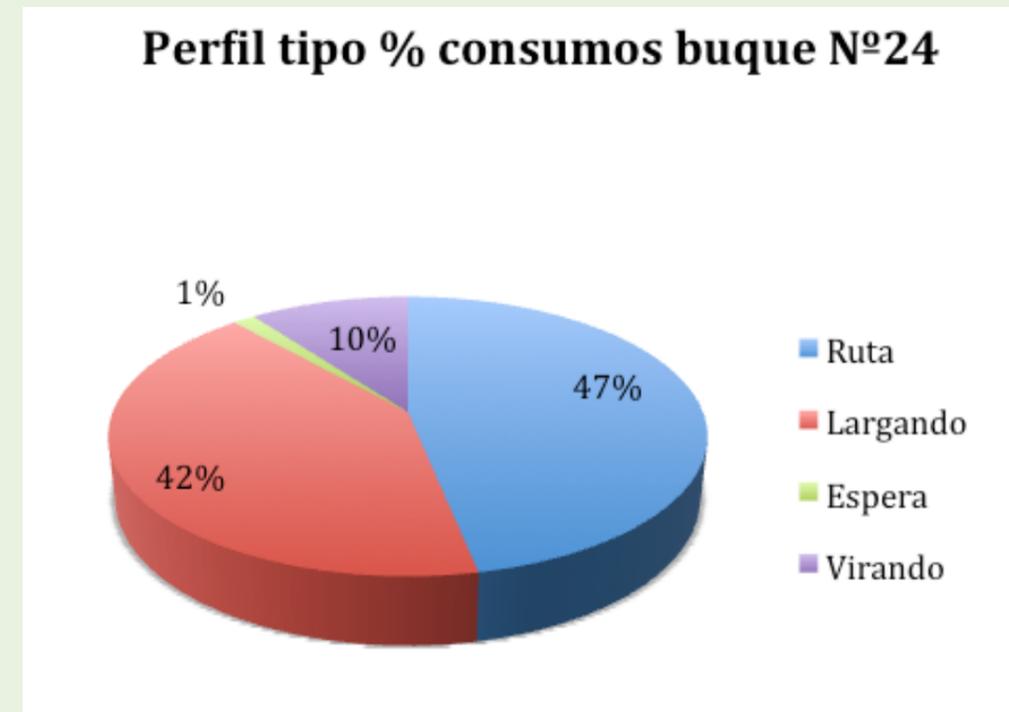


Fig. 229: Perfil tipo consumos totales motor principal según condición de operación.

La siguiente gráfica muestra, excepto para el buque N° 24, qué parte de los consumos del principal es debida a la propulsión y qué parte es debida al cola y bombas acopladas:

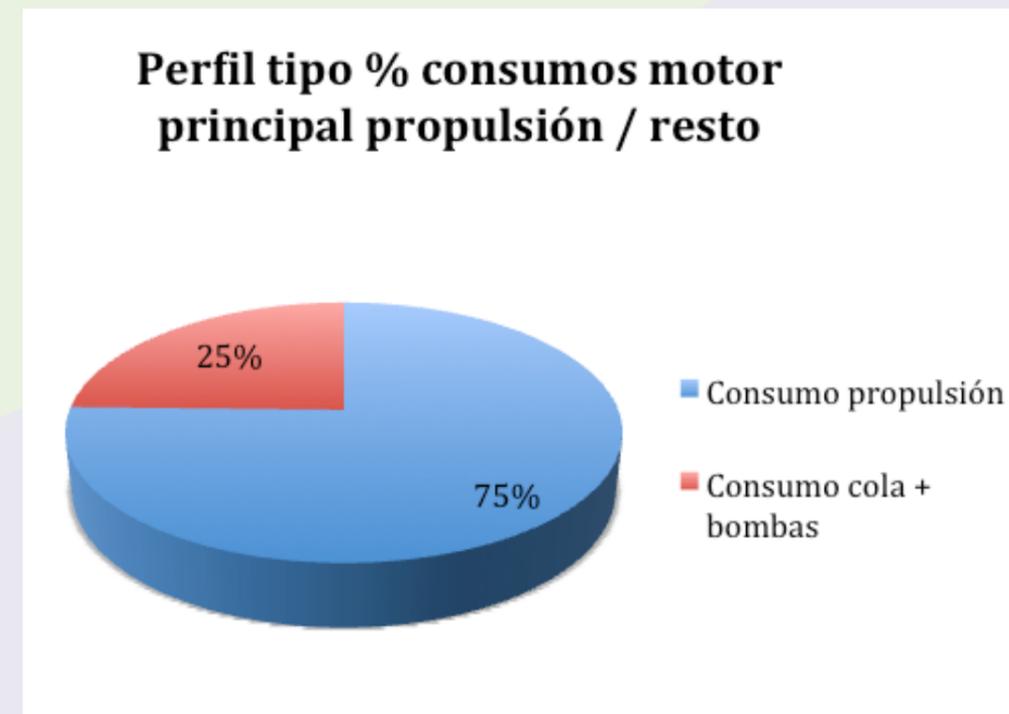


Fig. 230: Perfil tipo consumos motor principal según usos.

El resto de consumos, que corresponde a los motores auxiliares, representa un porcentaje muy bajo sobre el total.

Respecto al buque Nº 24, se estima que un 80 % del total de consumos se debe a la propulsión y un 20% a la generación de potencia eléctrica por parte de los auxiliares.

6.6. PROPUESTAS DE MEJORA HIDRODINÁMICA Y PROPULSIÓN. VIABILIDAD ECONÓMICA

Una vez realizado el estudio hidrodinámico, y obtenidos el perfil operativo del buque y de la planta propulsora, se procede a exponer las medidas planteadas para mejorar la eficiencia energética dentro de la hidrodinámica y la propulsión del buque.

Las reducciones alcanzadas en el consumo de combustible, se refieren en todos los casos al consumo total de la planta propulsora del buque, que en este caso representa prácticamente el consumo total del buque, excepto para el buque Nº 24. Al igual que para el Grupo 1, las medidas son aplicables, en la mayoría de los casos, únicamente a las condiciones de ruta y largado, y por tanto las reducciones alcanzadas dependerán en gran medida del perfil operativo del buque en cuestión, aumentando con el tiempo que el buque dedique a dichas condiciones.

Finalmente se estudia la viabilidad económica de las mismas, mediante el cálculo de los periodos de amortización necesarios para las inversiones requeridas. Dichos periodos serán menores cuanto mayores sean la reducción alcanzada y el gasto anual de combustible, y aumentarán con la inversión necesaria.

En el cálculo de dichos periodos no se tiene en cuenta el precio de la varada del buque, pues se considera que se aprovecha una de las varadas previstas para el mismo, y se considera un precio del combustible de 0,65 €/litro.

• Modificación formas de proa, nuevo bulbo

En este tipo de buques la resistencia por formación de olas representa un gran porcentaje de la resistencia total, al navegar el buque a velocidades relativamente elevadas. De esta manera se plantea el bulbo de proa como medida de reducción de dicha resistencia.

De igual manera que se realizaba para el Grupo 1, se optimiza el bulbo mediante un rediseño del mismo en los buques que ya cuentan con él, y mediante su inclusión en los buques que no lo tienen. Se ensayan las nuevas formas, optimizando el diseño para las velocidades de navegación y largado, y se comparan las situaciones inicial y final.

Se obtienen reducciones de la potencia de propulsión, de hasta un 10 %, en las condiciones de navegación y largado, para buques sin bulbo, porcentajes algo menores se obtienen para buques con bulbo.

Los ahorros totales de combustible se encuentran entre un 2 y un 8 %, y las inversiones necesarias se estiman entre 8.000 y 12.000 € con periodos de amortización de la inversión que van desde los dos años, para los buques de mayor consumo, hasta los veintiún años, para los de consumos más reducidos. De esta manera, en algunos casos esta medida no resulta recomendable. La siguiente gráfica muestra los porcentajes de ahorro obtenidos frente a los periodos de amortización necesarios:

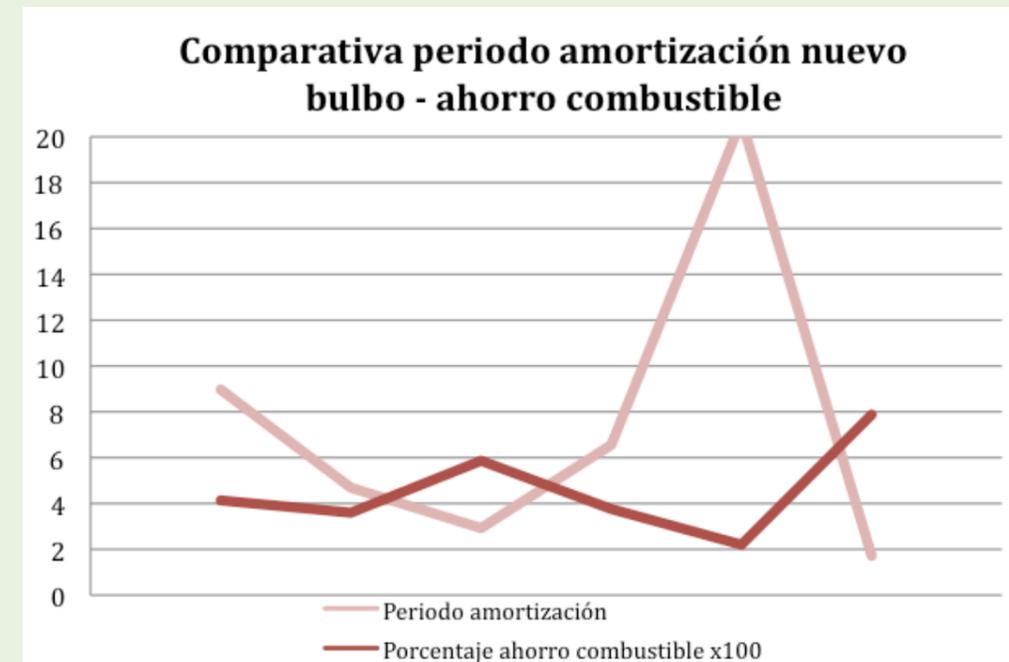


Fig. 231: Comparativa periodo amortización nuevo bulbo – porcentaje ahorro combustible x 100.

• Estudio de los trimados

Se realiza un estudio de las mejoras alcanzables mediante la variación del trimado de los buques, consiguiéndose reducciones de hasta un 5% de la potencia de propulsión, durante las condiciones de navegación y largado, mediante una variación de 2o hacia popa.

Estas variaciones en los trimados de los buques pueden alcanzarse mediante una redistribución de los pesos a bordo, sin embargo no siempre es suficiente esta medida, pues a veces las posibilidades de una redistribución de pesos a bordo son reducidas e insuficientes, en estos casos se puede optar por la instalación de unos interceptores en la popa del buque, a fin de conseguir los citados trimados.

La inversión requerida para los mismos es bastante reducida, encontrándose los ahorros obtenidos entre un 1,5 y un 4,0 %, y los plazos de amortización entre medio año y cuatro años y medio, lo que la convierte en una medida muy atractiva desde el punto de vista de la rentabilidad.

• Estudio conjunto nuevo bulbo y trimados

El anterior estudio de los trimados se refiere al caso de decidir llevar a cabo una variación en el trimado del buque sin variar las formas de su carena.

Suponiendo que se decida llevar a cabo la propuesta del nuevo bulbo se realiza un nuevo estudio de los trimados de los buques en referencia a las nuevas formas de proa.

Se alcanzan ahorros de hasta el 15 % en la potencia de propulsión del buque, con unos ahorros totales de combustible de entre el 3 y el 12 %, y unos plazos de amortización de entre dos y quince años.

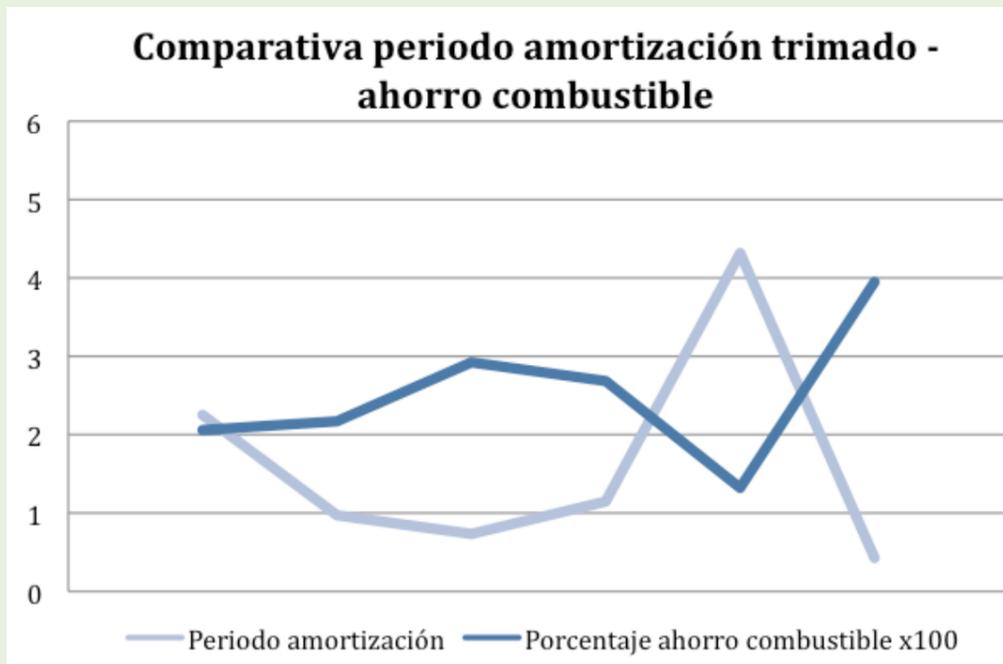


Fig. 232: Comparativa periodo amortiz. variación trimado – porcentaje ahorro combustible x 100.

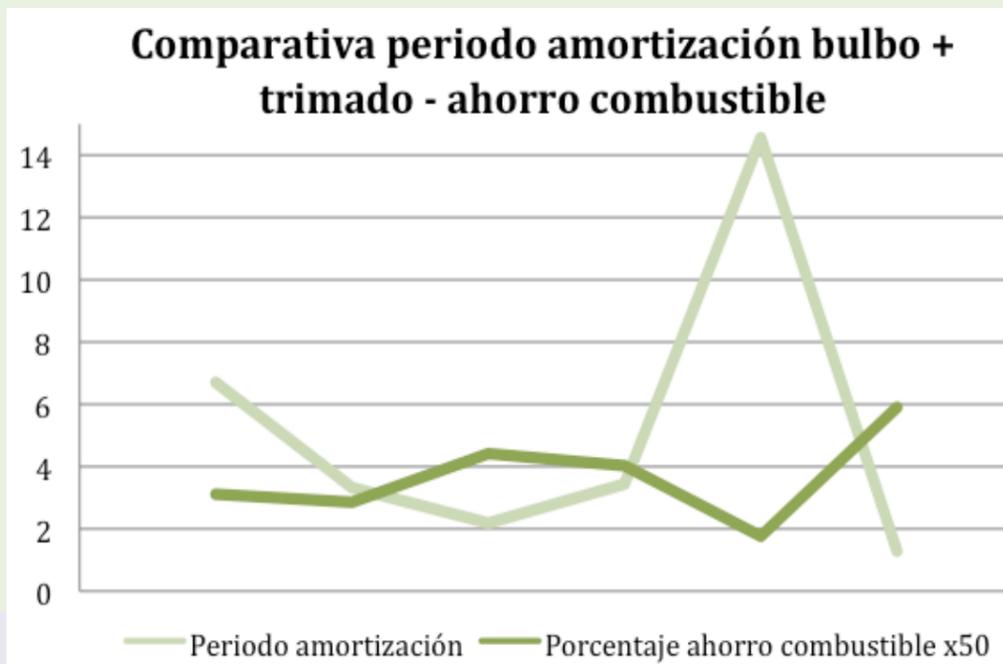


Fig. 233: Comparativa periodo amortiz. nuevo bulbo + variación trimado – porcentaje ahorro comb. x 50.

• Nueva hélice

Respecto al rediseño e instalación de una nueva hélice, se alcanzan mejoras de hasta un 5 % en la potencia de propulsión, correspondientes a ahorros de combustible de entre un 2 y un 4 %. La inversión necesaria varía entre 6.000 y 11.000 €, generándose unos periodos de amortización de la inversión, de entre tres y diecisiete años.

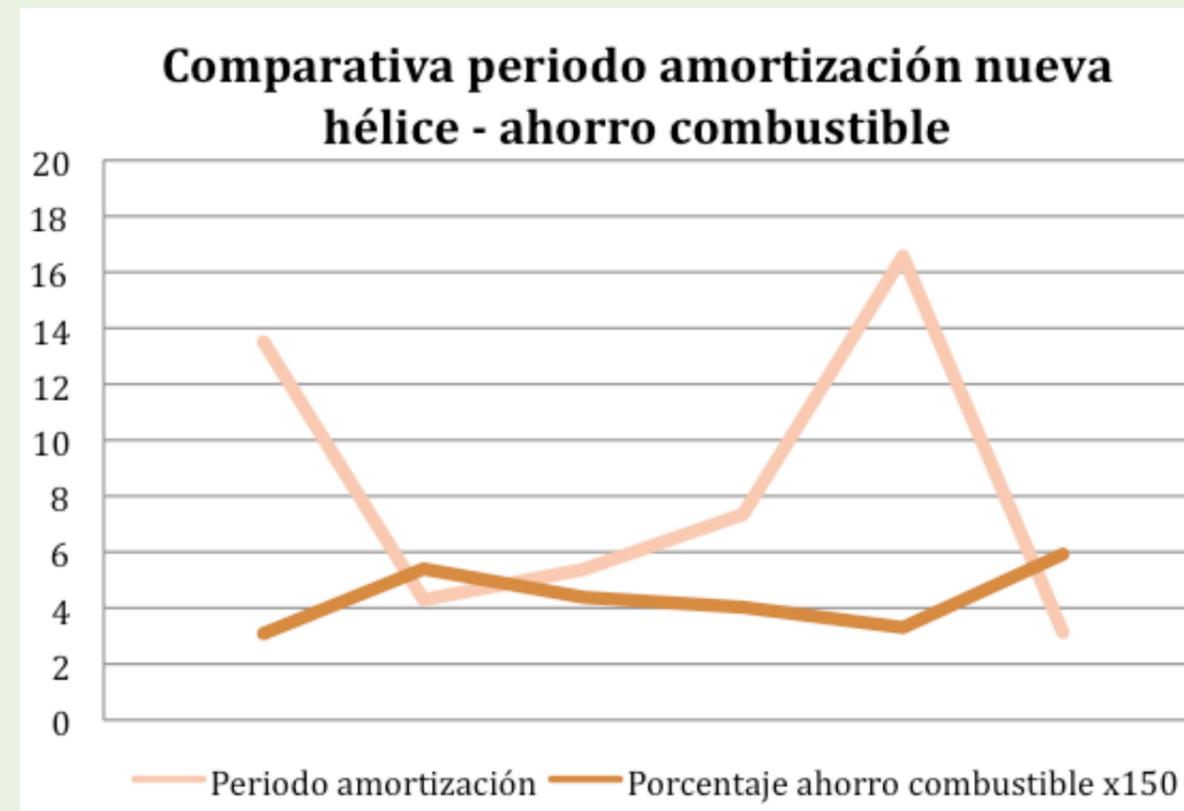


Fig. 234: Comparativa periodo amortiz. nueva hélice – porcentaje ahorro comb. x 150.

• **Nuevo timón**

Respecto al rediseño e instalación de un nuevo timón, se alcanzan mejoras de hasta un 5 %, correspondientes a ahorros de combustible de entre un 2 y un 4 %, generándose unos periodos de amortización de la inversión, de entre dos y quince años.

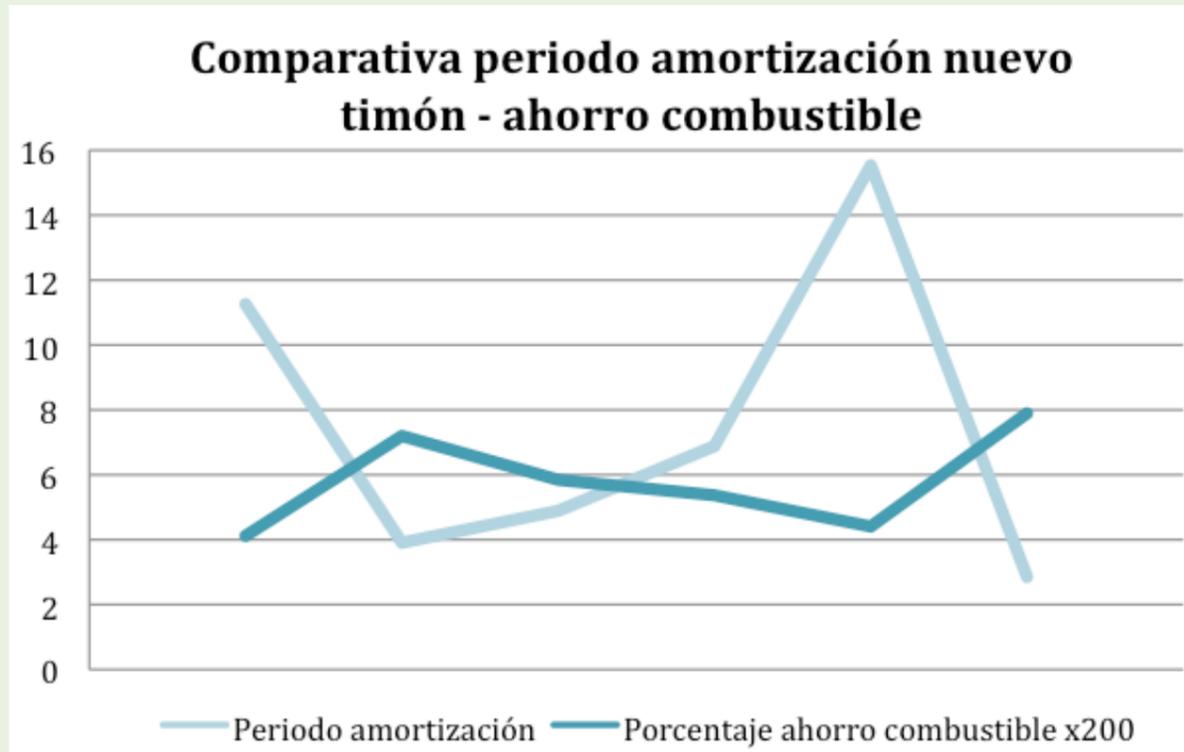


Fig. 235: Comparativa periodo amortización nuevo timón - porcentaje ahorro combustible x 200.

• **Pulido de la hélice**

La realización de un pulido de la hélice, con la consecuente reducción de la rugosidad de su superficie, puede arrojar ahorros de hasta un 1 % en la potencia de propulsión. Se obtienen ahorros de combustible que van desde 0,4 a 0,8 %. Siendo reducidas las inversiones necesarias, alrededor de 1.000 €, los periodos de amortización correspondientes se encuentran de un año y medio y nueve años.

Comparativa periodo amortización pulido hélice - ahorro combustible

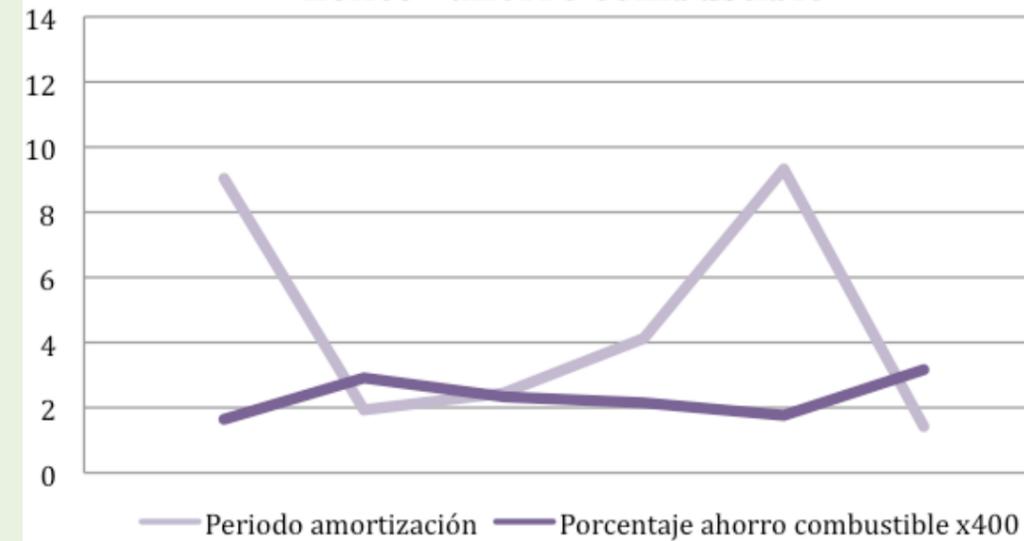


Fig. 236: Comparativa periodo amortización pulido hélice - porcentaje ahorro combustible x 400.

• **Reducción velocidad navegación**

Este tipo de buques por su forma de operar (generalmente hacen mareas de día, día y medio de duración, y llevan la pesca conservada al fresco), tiende a realizar las operaciones de navegación a velocidades muy altas, con las consiguientes potencias de propulsión también elevadas. Además la condición de navegación ocupa un porcentaje de tiempo significativo del tiempo total de la operativa.

Es por tanto conveniente realizar un estudio para comprobar si una reducción en la velocidad de ruta, con la consecuente reducción en el consumo de combustible, compensa económicamente el aumento del tiempo de la misma.

Se prueba a disminuir la velocidad de ruta medio nudo y un nudo, y se calculan los ahorros de combustible generados por cada día más de marea; se entiende que el número de días de aumento de la marea se obtiene como sumatorio del aumento diario de horas de las mismas.

Se comprueba que aunque los ahorros totales son mayores mediante la disminución de un nudo en la velocidad, los ahorros por día de aumento de marea, son menores, al alejarnos más del punto óptimo de funcionamiento del motor principal. De esta manera la opción de disminución de medio nudo resulta más rentable económicamente.

Según el buque, los ahorros obtenidos se encuentran entre 1.000 y 3.500 litros por día de aumento de la duración de la marea, con ahorros de entre el 3 y el 8 % de combustible en propulsión.

Sin embargo sería necesario estudiar los gastos del buque (referentes principalmente a la tripulación), y evaluar si el ahorro de combustible generado por la disminución de la velocidad de ruta, compensa el coste del gasto extra, que suponen estos mayores tiempos dedicados a la condición de navegación.

Además, en este tipo de buques, es posible que un aumento de horas en cada marea no sea viable, al descolocar mucho los horarios a los que generalmente se realizan las labores de pesca y de descarga.

Por ello la valoración de esta medida corresponde al armador del buque.

NOTA: El ahorro referente al buque N° 24 se ha calculado sobre el total de consumo, para tener en cuenta el aumento de consumos en generación. En los demás buques el porcentaje de ahorro se ha calculado sobre el consumo de la propulsión.

• Valoración total propuestas

Es complicado hacer una valoración global de las propuestas para este grupo.

Por un lado, se ha desestimado la posibilidad de realizar mejoras que afecten a la generación, por falta de viabilidad económica.

Por otro lado, se ha comprobado que en muchos casos, esta falta de viabilidad económica también afecta a las propuestas planteadas para la hidrodinámica y la propulsión.

Confluyen aquí dos aspectos importantes, por un lado los bajos consumos de combustible, y por otro lado la falta de proporcionalidad, ya mencionada, entre las inversiones requeridas y el tamaño de los buques.

A modo de ejemplo, supongamos que se opta por un nuevo bulbo para un buque de 20 m de eslora, con un consumo anual de 100.000 litros de combustible, produciéndose un ahorro del 5 %, es decir 5.000 litros anuales. Estimando un precio del nuevo bulbo más la obra de alrededor de 12.000 €, se produce un periodo de amortización de 3,7 años. Supongamos ahora un buque de 13 m de eslora, con un consumo anual de 30.000 litros, y el mismo ahorro por la inclusión del nuevo bulbo. En este caso el precio estimado de la inversión sería de 8.000 € y el plazo de amortización generado de 8,2 años.

Aunque se puede decir que los ahorros globales obtenidos por aplicación de todas las mejoras propuestas (suponiendo que se opta por rediseño del bulbo + trimado) son significativos, encontrándose, dependiendo del buque, entre el 8 y el 20 %, no sería correcto obtener un perfil medio de ahorros y plazos de amortización, puesto que estos últimos varían mucho, llegando en muchos casos a superar los siete años y en algunos a superar incluso los 10 años, lo que hace que en muchas ocasiones las medidas se desestimen.





7. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO DESCARTADAS

Además de todas las medidas propuestas y analizadas durante el presente estudio, existen otra serie de medidas de ahorro energético, que bien sea por motivos técnicos, bien sea por motivos de rentabilidad económica, no se han recomendado. Se procede a una breve descripción de dichos motivos:

• Energía solar fotovoltaica

Se genera corriente continua que es necesario almacenar con baterías, lo que complica el sistema y aumenta el peso y volumen y las pérdidas energéticas. Por otro lado también aumenta el coste, y consecuentemente el periodo de retorno de la inversión. Debido a su bajo rendimiento la superficie necesaria para producir una potencia considerable es muy elevada, esto es ineficiente en barcos de pesca, en los que la cubierta debe estar libre para las labores de pesca.

• Energía solar térmica

La utilización de esta energía se descarta, pues incluso disponiendo de una superficie de panel termosolar mayor a la cubierta del pesquero, existirían a bordo otros focos de calor más potentes, como los gases de exhaustación o los circuitos de alta T^a de los motores, que ya se descartaron por no resultar rentables, debido a la poca potencia obtenible y a que no se necesita esa energía térmica.

• **Energía eólica con aerogeneradores**

La instalación de dichos aerogeneradores aumenta la resistencia aerodinámica del barco, que se traduce en un mayor consumo del motor propulsor. Por otro lado el tamaño de los aerogeneradores necesarios para obtener una potencia significativa es prohibitivo en estos buques, cuya cubierta ha de encontrarse libre. Las potencias obtenibles no compensan el coste de la instalación así como el aumento de la resistencia.

• **Energía eólica con velas rígidas**

Cuando no hay viento, o este no es favorable, la resistencia de las velas perjudica el consumo al aumentar la resistencia al avance. Adicionalmente obliga a incrementar la tripulación del buque. De esta manera es complicado rentabilizar la inversión necesaria. Por otro lado, en embarcaciones de pesca, las velas limitan la capacidad de maniobra y la estabilidad del buque, y el mástil y la jarcia reducen la disponibilidad de espacio libre en la cubierta.

• **Cometas (KITES)**

Este sistema sólo puede ser usado fuera de la zona de las 3 millas y separado de áreas con tráfico intenso. En cuanto a las condiciones de viento, debe ser utilizado entre fuerza 3 y 8 de la escala Beaufort. Por debajo de fuerza 3, el sistema no puede lanzarse, y por encima de la 8, tiene el peligro de controlarse mal. Además requiere un espacio en cubierta para su almacenamiento, y otro para la instalación del mástil y del winche. Apenas se han hecho ensayos en barcos de trabajo.

NOTA: El mayor problema que tiene cualquier sistema que utilice energías renovables es que dicha energía no es gestionable, no es garantizable la existencia de viento o de luz, en el momento que se requiere para el consumo. De esta manera siempre se requiere de equipos alternativos.

• **Gas natural, LNG**

Requiere tanques de almacenamiento mucho más grandes, así como un aislamiento que ocupa un volumen considerable. Por otro lado necesita nuevas infraestructuras logísticas y de aprovisionamiento. Su aplicación en buques de este tamaño no resulta viable ni técnica ni económicamente.

• **Propulsión diesel – eléctrica**

Se requiere un cambio de los motores propulsores diesel, a motores eléctricos, así como la instalación de nuevos generadores, y la realización de toda la obra que implica. Este sistema tiene un peor rendimiento que las instalaciones de propulsión convencionales. La inversión inicial para los equipos necesarios, así como para las obras a bordo, es elevadísima, y para rentabilizarla, se necesitan buques de gran porte, con altos consumos anuales de combustible y que pasen un porcentaje significativo de tiempo maniobrando.

• **Alargamiento de la carena**

Un alargamiento de la carena, a altas velocidades, puede reducir la potencia de propulsión necesaria; en estos buques las velocidades alcanzadas no son tan elevadas como para conseguir una mejora considerable. En cualquier caso este tipo de obras se suelen llevar a cabo con el fin de aumentar volumen de bodegas, aunque la mayoría de las veces existen limitaciones técnicas de arqueo / derechos de pesca. Sea cual sea el fin, y al margen de las citadas limitaciones, la elevada

inversión necesaria hace que los plazos de amortización en estos buques sean demasiado altos.

• **Hélices de paso variable / Mando combinado**

Los costes de construcción e instalación son mayores que en el propulsor de paso fijo, siendo además necesaria también la instalación de una nueva línea de ejes. Aunque los ahorros son mayores que con un rediseño de la hélice, resulta más rentable este último. Además a bajas velocidades puede ser contraproducente, generando mayores consumos que una hélice tradicional.

Si se instala la hélice de paso variable y también un generador de cola, el ahorro obtenido aumentaría notablemente.

Por otro lado existe la posibilidad de instalar un mando combinado, lo que permite operar a la hélice en el punto óptimo de revoluciones y paso para cada punto de trabajo. Aunque los ahorros generados son significativamente mayores que con un rediseño, la inversión necesaria resulta elevadísima, no siendo rentable para buques del porte y consumo anual de los buques en estudio.

• **Toberas**

Las toberas convencionales generan un incremento de empuje, con un efecto mucho más acusado a bajas velocidades. A altas velocidades este incremento suele ser menor que la resistencia al avance que genera. Por tanto sólo es recomendable para buques con una demanda de empuje muy elevada a bajas velocidades, como los arrastreros, sin embargo no resultan rentables para los palangreros de superficie.

Acerca de las toberas que se colocan delante de la hélice, para regularizar el flujo, existe mucha controversia en cuanto a su funcionamiento, y requeriría un estudio profundo y particular para cada buque concreto.

• **Reductora de dos velocidades**

Las reductoras de dos velocidades podrían resultar rentables en buques como los arrastreros, en los que las revoluciones óptimas de la hélice durante las condiciones de largado y virado son diferentes, sin embargo en palangreros las revoluciones óptimas en dichas condiciones son casi las mismas, con lo que la instalación de este tipo de reductoras no tiene sentido.

• **Aditivos combustible**

El problema principal que surge con esta medida es que no hay un estudio científico independiente que avale las reducciones que ofrecen las empresas dedicadas a los mismos. De esta manera es una medida que no se puede recomendar en cuanto a que no se sabe con exactitud qué mejoras puede generar.



8. CASO HIPOTÉTICO DE CONSTRUCCIÓN DE UN PALANGRERO HOY

El estudio realizado se centra en las mejoras que se pueden alcanzar mediante la modificación de buques existentes (lo que habitualmente se denomina “retrofitting”); ante ello se plantea la duda del potencial de mejora existente entre la flota actual con una embarcación construida hoy en día; para ello se prestaría atención a un diseño basado no sólo en la operativa, legislación vigente, seguridad y coste, sino que además se trataría de optimizar su eficiencia energética, analizando tanto las instalaciones como la geometría de su casco desde cero.

Evidentemente los porcentajes de mejora esperados en una nueva construcción son mayores que en el caso de modificaciones en buques ya existentes, al contar este último caso con numerosas restricciones:

— Las formas de un buque existente pueden ser corregidas en zonas concretas, limitándose únicamente a modificaciones de proas, actuaciones en la popa, o alineación de apéndices. En el caso de un alargamiento del buque, entrarían en escena cuestiones legislativas (una limitación de GTs máximas), por lo que no se trataría únicamente de una cuestión hidrodinámica con un impacto en la eficiencia energética, sino que además repercutiría en un cambio en la capacidad pesquera. En todo caso, resulta evidente que no se pueden cambiar por completo la geometría de carena de un buque ya construido.

— Respecto a la planta propulsora, existen diversas posibilidades de actuación; un cambio de motor, reemplazar una hélice o un timón de diferente diseño, o incluso la adaptación de la línea de ejes son posibilidades dentro de un amplio rango de costes de inversión. Sin embargo, modificaciones más drásticas requieren inversiones no viables o incluso la utilización de un espacio no proyectado desde un principio debido al nuevo empacho de la instalación. Por poner un ejemplo, en el caso de la utilización de energía eléctrica para la propulsión, las baterías deben ser ubicadas en su espacio correspondiente, mientras que no suelen desaparecer los tanques de gasoil de la instalación para redundancia del sistema o para alimentación de estas baterías. Además, la ubicación de nuevos sistemas puede no ser la óptima por tratar de adaptarse a la configuración actual del buque, repercutiendo en la estabilidad del mismo.

— En el caso de determinados consumidores, su ciclo de vida esperado hace que las instalaciones existentes actualmente sean “obsoletas” energéticamente hablando; no obstante, en el caso de proponer los nuevos sistemas su coste de instalación / adaptación es muy superior a una instalación nueva actual, por lo que su ventaja económica fruto de su mayor eficiencia energética se pierde a ojos del inversor. De nuevo, factores como el empacho o la influencia en la estabilidad y seguridad del buque pueden también formar un papel decisivo en la posibilidad de utilización como “retrofitting” o su planteamiento prácticamente exclusivo para nuevas construcciones.

Como comparativa, se ha decidido realizar un diseño de un buque palangrero donde se haya realizado un estudio de su eficiencia energética en el proceso de concepción del mismo, y que por lo tanto no presente las limitaciones que implicaría la adaptación de un buque existente.

Para mayor rigor en la comparativa, se ha partido de los datos reales de un buque de palangre sobre el que se mantienen las dimensiones básicas (eslora, manga, puntal, desplazamiento y coeficientes de forma).

• **Carena**

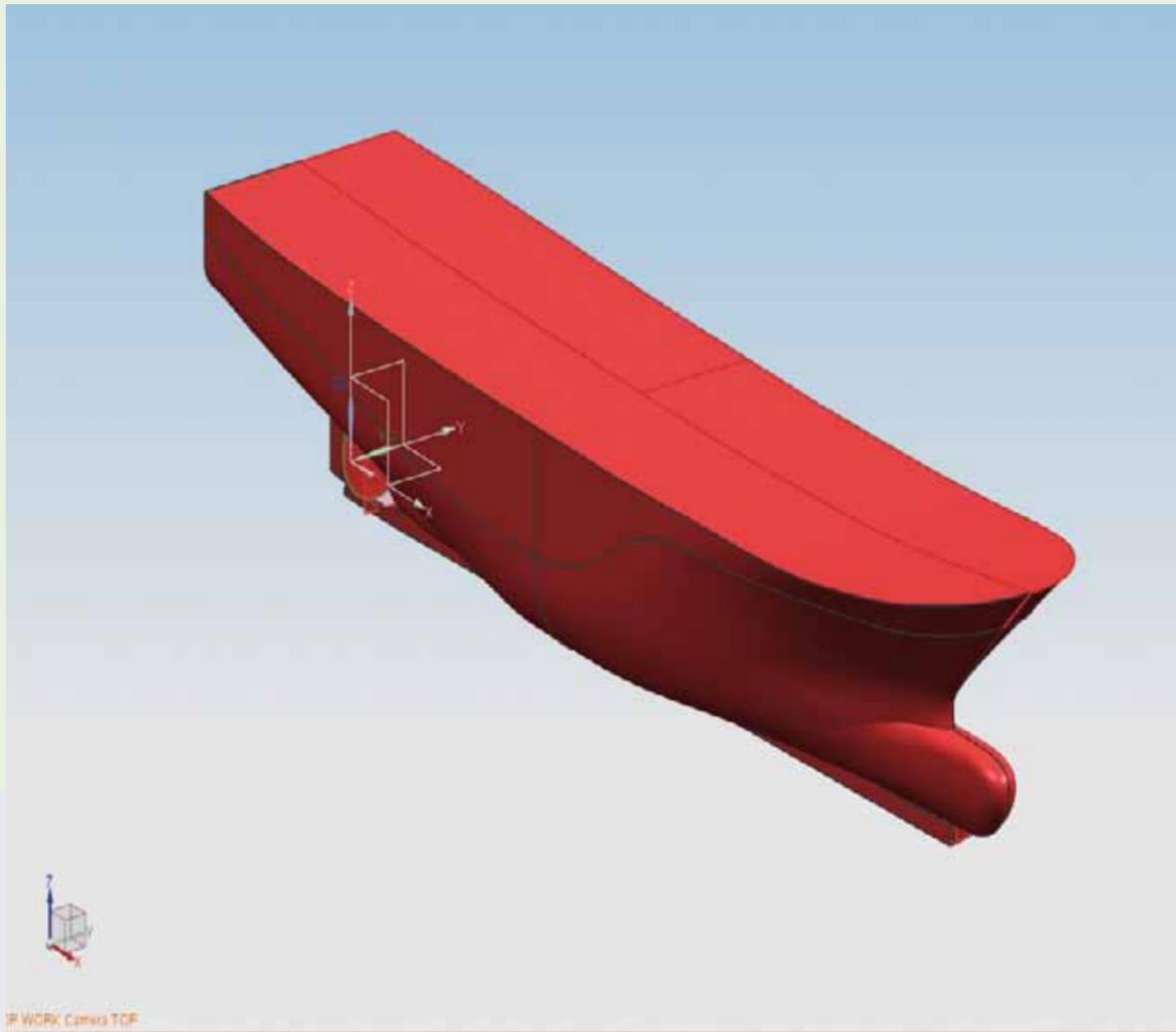


Fig. 237: Diseño de la carena nuevo palangrero.

Velocidad (kn)	PB prop. (kW)	OPC	Resistencia (N)
8,5	136,5	0,729	22750
9,0	159,5	0,736	25363
9,5	190,8	0,734	28651
10,0	234,1	0,727	33081
10,5	285,9	0,726	38436
11,0	349,8	0,729	45079
11,5	435,8	0,725	53388
12,0	551,9	0,707	63233
12,5	681,5	0,692	73381
13,0	793,4	0,698	82809

Tabla 36: Tabla resumen resistencia, potencia y rendimiento propulsivo frente a velocidad.

• **Hélice de 2,7 metros de diámetro**

Para completar la mejora del buque, se plantea un diseño optimizado de la hélice aprovechando al máximo el espacio disponible (respetando siempre las claras), obteniéndose un propulsor con las siguientes características:

Diámetro	2,7	m
Paso 0,7R	2,583	m
P/D	0,957	
Ae/Ao	0,447	
Z	4	
Potencia	850	kW

Tabla 37 Tabla resumen características propulsor nuevo palangrero

• **Comparativa con la flota**

Uno de los parámetros que se han comparado para ver la eficiencia se trata de ver por tamaños de buque la relación que podrían tener de potencia y velocidad. Para ello, se grafica la tendencia del ratio potencia /velocidad frente a la eslora entre perpendiculares tanto para los buques estudiados en este proyecto como para el buque propuesto ("buque ejemplo"). Se puede observar en la gráfica siguiente que éste último se sitúa por debajo de la línea de tendencia, lo que demuestra que para una misma potencia se consigue mayor velocidad que la esperada (también puede concluirse que a igualdad de velocidad, la potencia necesaria es menor). Esta diferencia con la curva teórica se ha calculado que se sitúa en torno a un 12 %.

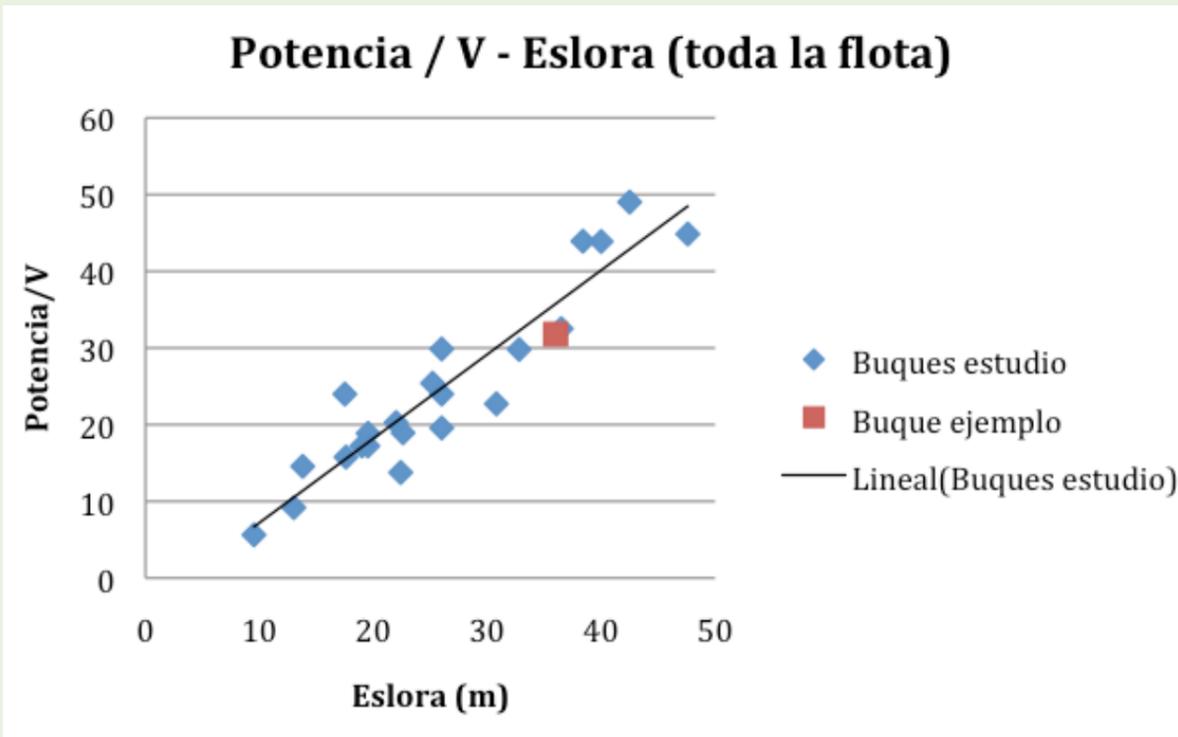


Fig. 238: Relación potencia/velocidad – eslora flota y nuevo palangrero.

Volviendo sobre la misma idea, se hace ahínco en la dependencia de esta potencia y velocidad no únicamente con la eslora, sino también se trata de relacionarlo con un indicativo de la carga del propio buque. El parámetro propuesto (potencia dividida entre eslora, arqueo y velocidad) se grafica a continuación para el conjunto de la flota estudiado:

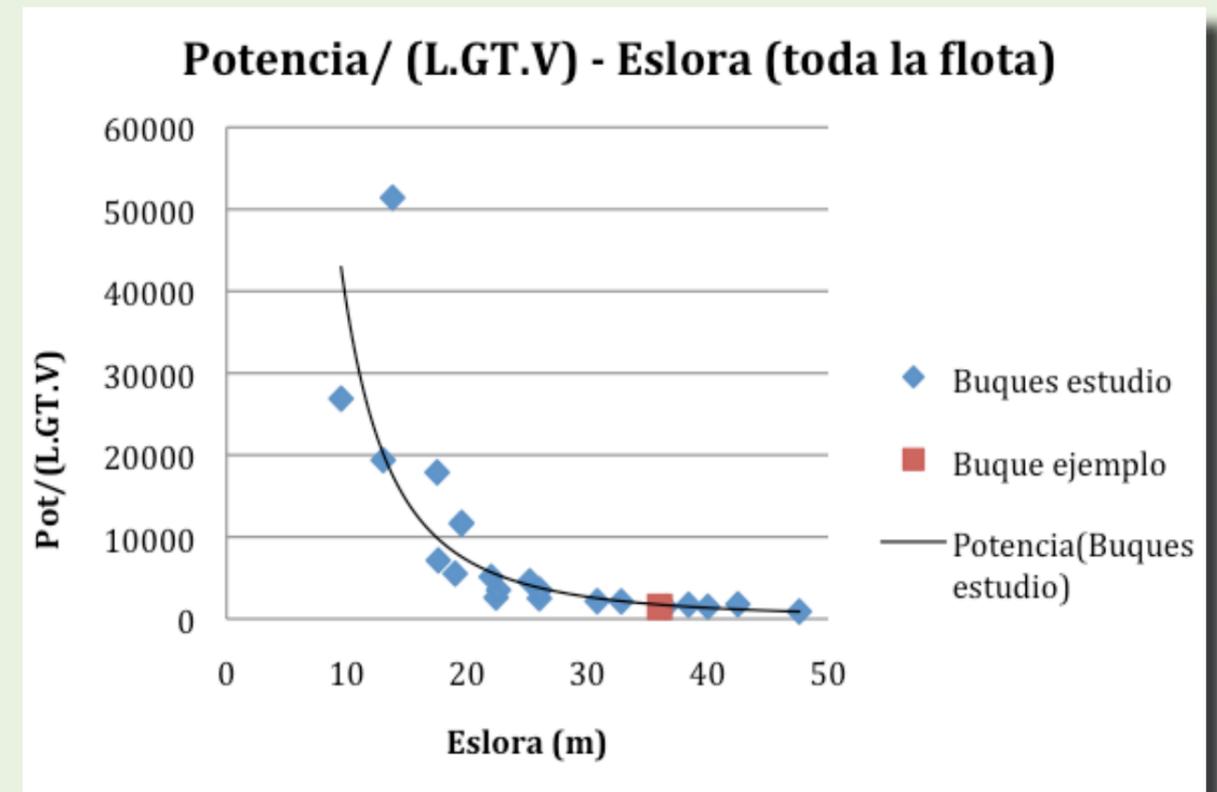


Fig. 239: Relación potencia/(L.GT.V) – eslora flota y nuevo palangrero.

Puede observarse una serie de puntos en la zona izquierda de la gráfica (buques de menor eslora) que se separan de la tendencia de la curva. Se trata de la representación de las embarcaciones correspondientes a la flota del mediterráneo (Carboneras); como se ha comentado con anterioridad, sus características son muy diferentes al resto de las embarcaciones estudiadas, siendo sus números de Froude mucho más elevados y convirtiéndose en embarcaciones de semidesplazamiento. Por ello, se grafica de nuevo este parámetro excluyendo estas embarcaciones, obteniéndose una diferencia aproximada entre el buque propuesto y la línea de tendencia de la flota existente de cerca del 9 %.

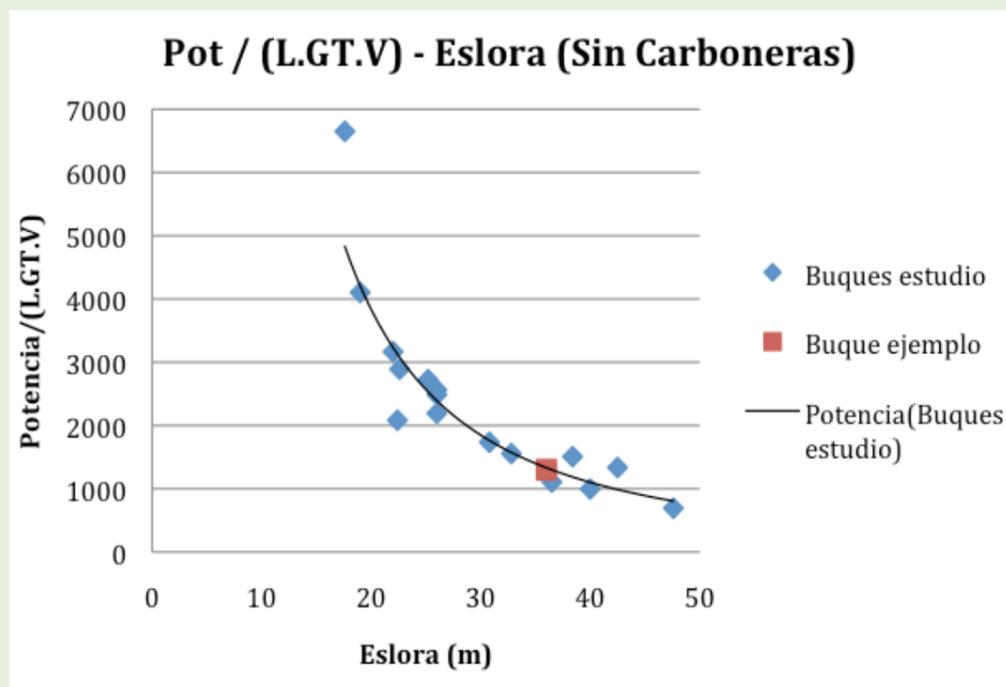


Fig. 240: Relación potencia/(L.GT.V) – eslora flota reducida y nuevo palangrero.

Por último, se compara el rendimiento propulsivo del buque frente a sus dimensiones y potencia, donde se obtiene una diferencia del 15 %:

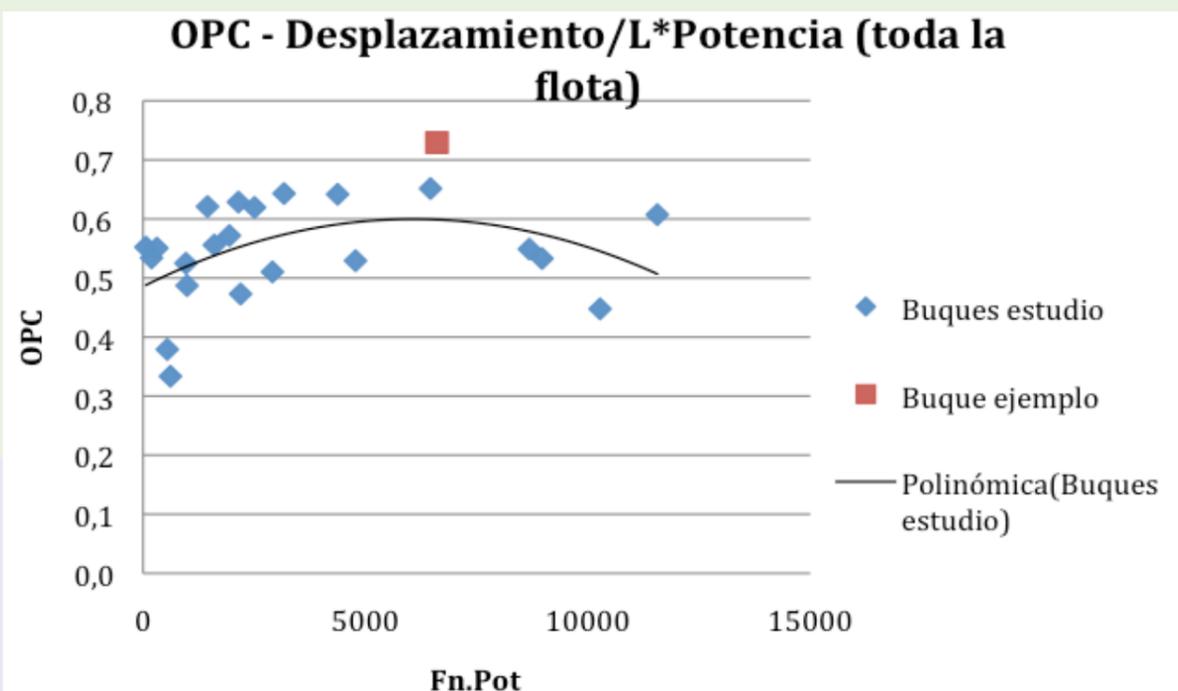


Fig. 241: Relación OPC – ratio desplazamiento/(L*Pot.) para la flota y nuevo palangrero.

Si se centra más la comparación en buques semejantes dentro de la flota estudiada, se seleccionan los buques N° 8, 9 y 17, cuyas características se resumen y comparan como sigue:

	Lpp (m)	GT	Desplazamiento (t)
Buque ejemplo	36,0	607,0	680
Buque N° 8	38,4	664,8	759
Buque N° 9	32,8	427,0	584
Buque N° 17	36,5	606,0	806

Tabla 38: Tabla resumen características buques semejantes al nuevo palangrero.

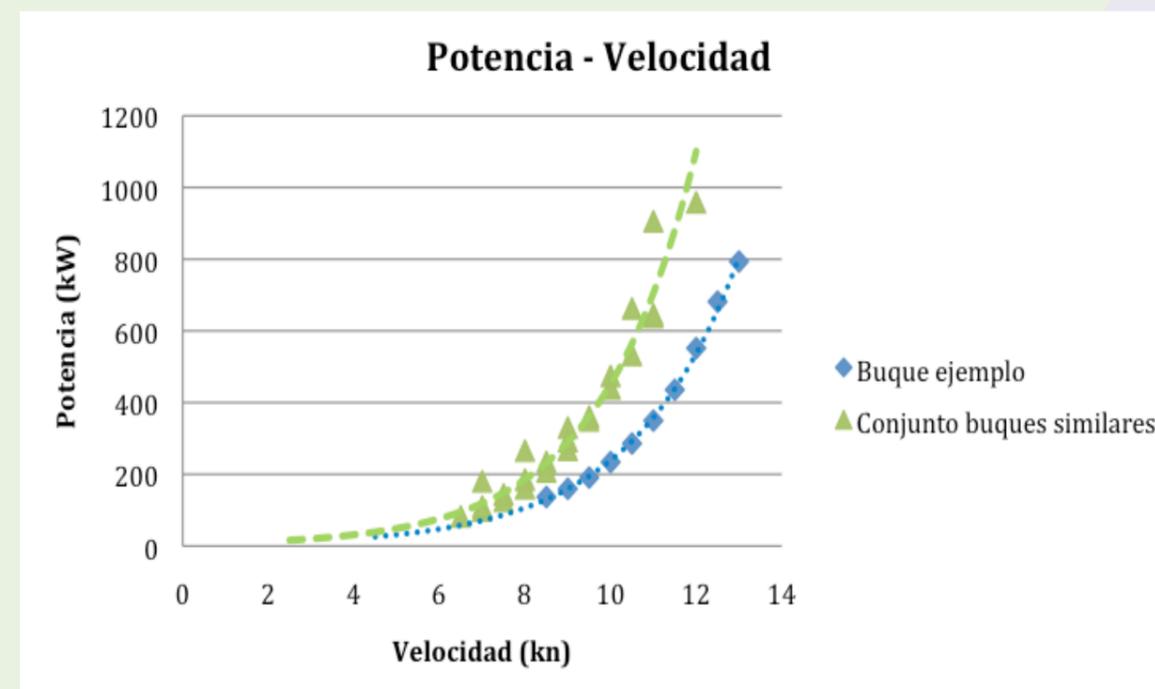


Fig. 242: Curva potencia – velocidad calculada para el nuevo diseño y buques semejantes de la flota.

Como se puede observar, el margen de mejora en potencia puede llegar a ser superior al 40 %.

Velocidad (kn)	8	9	10	11
Buques estudio - Potencia (kW)	185,4	289,4	451,7	705,1
Buque 0 - Potencia (kW)	106,4	159,4	239,0	358,2
Diferencia	43%	45%	47%	49%

Tabla 39: Tabla resumen márgenes de mejora.



9. CONCLUSIONES

El estudio realizado permite obtener una visión general de la flota de palangre, en cuanto a su eficiencia energética.

Para los buques existentes, la opción del “retrofitting”, refleja un escenario positivo en cuanto al potencial de mejora de la flota.

Respecto a la flota de palangreros congeladores, se obtienen unos ahorros de combustible significativos, tanto a nivel de propulsión, como a nivel de generación, con inversiones que hacen viables, a nivel económico, las actuaciones necesarias.

No así en cuanto a la flota de palangreros costeros al fresco, en este caso, aun existiendo un margen de mejora considerable, las medidas pocas veces son viables económicamente.

Este potencial de mejora existente, deja patente la falta de una fase de estudio de la eficiencia energética, a nivel del proyecto del buque, principalmente porque los mismos se construyeron en otra época en la que las prioridades eran diferentes, y la concienciación por el cuidado del medio ambiente era mucho menor.

En el proyecto de un buque, tanto a nivel de diseño de formas, como a nivel de equipos, se llega a una solución de compromiso entre muchos factores de índole muy variada, tales como requerimientos de empacho, de estabilidad, requerimientos operativos, normativas de seguridad, etc.

El proyecto de un buque, basándose en fines exclusivamente energéticos, no sería posible ni recomendable, sin embargo sí se considera que valoraciones del tipo energético, se deberían tener en cuenta a nivel de proyecto, como otro de los aspectos a valorar en la búsqueda de esa solución de compromiso.

Se utiliza el ejemplo del diseño de la carena y el propulsor para un buque nuevo, lo que pone de manifiesto, que las mejoras alcanzables con un diseño que tenga en cuenta consideraciones energéticas son aún mayores que las alcanzadas mediante el “retrofitting”. Estos resultados son extrapolables a otros factores como la elección de motores y equipos a bordo, diseño del timón, etc.

Queda patente la gran utilidad del procedimiento de auditoría energética, como medio de evaluación de la eficiencia energética de los buques, así como su utilidad en la búsqueda de soluciones para la mejora de la misma. Dentro de este procedimiento, se pone de manifiesto la gran importancia de las mediciones a bordo, para la realización de un correcto estudio.

Es importante notar que los márgenes de ahorro alcanzables, ya sea mediante el “retrofitting”, ya sea mediante un proyecto correcto a nivel energético, aumentan considerablemente al complementarlos con unas correctas costumbres a bordo.



cepesca

Confederación Española de Pesca

AUDITORÍA ENERGÉTICA DE PALANGREROS DE SUPERFICIE

Asociaciones y Entidades Colaboradoras:

- Cooperativa de armadores de pesca del puerto de Vigo (ARVI)
- Organización de Palangreros Guardeses ORPAGU
- Pescadores de Carboneras S.C.A.



cepesca

Confederación Española de Pesca

Asociaciones Colaboradoras:

- Cooperativa de armadores de pesca del puerto de Vigo (ARVI)
- Organización de Palangreros Guardeses ORPAGU
- Pescadores de Carboneras S.C.A.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo
de Pesca (FEP)


VICUSdt
DESARROLLOS TECNOLÓGICOS



emenasa