

Estudio para la implementación de barcas de motores eléctricos a las embarcaciones de la cofradía de pescadores de Gandía



Naus amb
Energia Neta
Gandia

Auditoria y estudio para una embarcación piloto

Cofradia de Pescadors de Gandia

Noviembre 2021



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA





Gandia

Resumen ejecutivo

En el presente documento se plantea la hibridación de una embarcación de pesca de artes menores de la Cofradía de Pescadors de Gandía. Este proyecto surge por iniciativa propia de la Cofradía, la cual, siendo consciente de las emisiones e impactos producidos por sus embarcaciones de pesca, desea buscar soluciones para reducir dicha contaminación y realizar una transición hacia modelos de usos energéticos basados en electricidad y fuentes renovables. Para ello plantean el estudio para electrificar total o parcialmente una embarcación de pesca.

La población de Gandía se encuentra en la costa mediterránea de la Comunitat Valenciana y representa uno de los principales destinos turísticos nacionales en verano. La población en verano puede pasar de los cerca de 78.000 habitantes empadronados hasta 300.000 habitantes. Dispone de un puerto en el que la mayoría de las embarcaciones son recreativas provenientes del club náutico, pocos barcos portacontenedores de comercio a nacional/internacional y de 40 embarcaciones de pesca censadas, de las cuales 31 son de artes menores.

La embarcación en la cual se ha realizado el estudio es de artes menores, tiene una eslora total de 12,83 metros, una manga de 3,50 metros y 20 años de antigüedad, cuyo casco está hecho de PRFV. Tiene un motor diésel SCANIA DN 12-M.M con 129 kW (175 HP) de 6 cilindros, con turbo e intercooler. Dispone de dos depósitos de 1,2 m³ a cada lado del barco, el sistema eléctrico y aparta de del barco trabajan a 24 V_{DC} y 230 V_{AC}.

En la propuesta del sistema de propulsión de la embarcación piloto se han valorado las diferentes tecnologías que ofrece el mercado para el sistema de propulsión del barco. Las cuáles se diferencian principalmente en si el motor principal es un motor de combustión tradicional o un motor eléctrico. Si hay un motor eléctrico principal las alternativas son contar únicamente con baterías o disponer de un generador y reducir la capacidad de baterías necesaria, que *a priori* corresponde la opción de más seguridad de abastecimiento de energía entre los dos. Si hay un motor de combustión principal las alternativas son adquirir un motor híbrido completamente nuevo que funcione con mejores rendimientos o utilizar el motor de combustión actual e instalarle un motor eléctrico en paralelo, el cual funcionaría a bajas velocidades de navegación.

Se ha consultado a empresas e instaladores para realizar los presupuestos de las propuestas. Teniendo en cuenta los costes y los resultados de viabilidad económica se propone la hibridación del motor actual conectando un motor eléctrico en paralelo. El motor propuesto es el motor un motor síncrono de imanes permanentes DriveMaster 20W EVO cuya potencia nominal y máxima son 15 kW y 20 kW, respectivamente, a 48 V. El sistema de almacenamiento tiene una capacidad de 41 kWh y consiste en dos bancadas de baterías de litio en paralelo, de 20,5 kWh cada una. Por su parte, se ha optado por cargadores Victron Quattro 48/8000-110+100, con los cuales las baterías se cargarían en menos de 6 horas, aunque también se puede cargar las baterías en modo Engine Propulsion.

Con los costes de los componentes seleccionados y el ahorro en la operación y mantenimiento estimado se han calculado los principales indicadores económicos para evaluar la viabilidad económica de la solución. Los resultados han reflejado que, con los costes actuales, no se llega a recuperar la inversión inicial, aunque de



Gandia

entre ellos la opción de la hibridación en paralelo del motor actual ha sido la que mejores resultados proporciona. No obstante, la evaluación de los precios de los sistemas de almacenamiento basados en baterías de Iones de litio indica que este tipo de proyectos serán rentables en el mediano plazo.

Con la hibridación en paralelo se consigue aprovechar el motor actual. Con ello, el sistema puede funcionar en tres modos específicos. Principalmente el motor térmico se usará para velocidades elevadas, momento el cual se puede aprovechar para cargar las baterías si se requiere. Es recomendable utilizar el motor eléctrico cuando las revoluciones sean bajas y cuando se quiere faenar sin ruido. Adicionalmente, los dos motores pueden funcionar, sumando las potencias de ambos.

Los beneficios de las embarcaciones híbridas sobre el medio ambiente son muchos. Se reduce drásticamente la contaminación acústica cuando se navega con el motor eléctrico, se reducen en un 32% los vertidos de hidrocarburos producto de la combustión y se reducen las emisiones de CO₂ equivalente, un total de 13,24 toneladas de CO₂ al año. Este último beneficio se tiene en cuenta en el análisis de ciclo de vida de la embarcación, el cual refleja que una embarcación con motor diésel tiene casi un 40% más impacto que una embarcación híbrida.

Finalmente, la transición energética de las embarcaciones de pesca abre el camino hacia una serie de oportunidades de subvención de los fondos europeos de recuperación, sellos de calidad de pesca respetuosa con el ambiente, y la mejora de las condiciones laborales de los trabajadores. Esta alternativa también podría hacer que este tipo de proyectos se rentable.



ÍNDICE

Resumen ejecutivo	3
ÍNDICE	5
Listado de imágenes.....	1
Listado de tablas	3
1. Introducción.....	4
2. Estudio de la embarcación.....	6
2.1. Descripción de la pesca en Gandía.....	6
2.1.1. Tipos de pesca.....	6
2.1.2. Gasto de energía	10
2.1.3. Patrones de consumo	12
3. Descripción y auditoria de la embarcación.....	14
3.1. Descripción de la embarcación	14
3.2. Descripción de los componentes de la embarcación.....	15
3.2.1. Sistema mecánico	15
3.2.2. Sistema eléctrico	16
3.2.3. Sistema hidráulico y electrohidráulico.....	20
3.2.4. Sistema de navegación	21
4. Escenarios a analizar	22
4.1. Embarcación completamente eléctrico.....	22
4.1.1. Ventajas y desventajas.....	22
4.1.2. Motor eléctrico	23
4.1.3. Sistema de almacenamiento en baterías.....	24
4.1.4. Sistema de recarga	25
4.1.5. Escenario sistema completamente eléctrico.....	26
4.2. Barco híbrido	27
4.2.1. Ventajas y desventajas.....	28
4.2.2. Configuración en serie y en paralelo.....	28
4.2.3. Formas de uso del sistema híbrido.....	30
4.2.4. Escenario sistema híbrido	31
5. Dimensionado de los sistemas eléctrico e híbrido.....	33
5.1. Sistema completamente eléctrico.....	33
5.2. Sistema híbrido	36
6. Soluciones adoptadas para cada escenario.....	38
6.1. Propuesta del sistema de propulsión eléctrico.....	38
6.2. Propuesta del sistema de propulsión híbrido.....	40
6.3. Resumen de los sistemas de propulsión y elección recomendada	42



Gandia

6.4.	Descripción del sistema de propulsión elegido.....	43
6.5.	Recomendaciones de uso	43
7.	Análisis económico.....	46
7.1.	Estructura de costes	46
7.2.	Análisis de los costes de operación	48
7.2.1.	Renovación de las baterías.....	48
7.2.2.	Mantenimiento	49
7.2.3.	Renovación del motor térmico	49
7.2.4.	Ahorro en el consumo energético.....	49
7.3.	Principales indicadores económicos.....	51
7.3.1.	Flujo de caja y PAYBACK.....	52
7.3.2.	VAN (Valor Actual Neto).....	54
7.3.3.	TIR (Tasa Interna de Retorno).....	56
7.3.4.	Comparación de resultados	56
8.	Análisis medioambiental	57
8.1.	Análisis de ciclo de vida.....	57
8.1.1.	Evaluación del impacto del ciclo de vida.....	60
8.2.	Vertidos.....	63
8.3.	Contaminación acústica	64
8.4.	Emisión de gases contaminantes.....	66
9.	Riesgos, barreras y oportunidades	67
9.1.	Riesgos.....	67
9.2.	Barreras.....	68
9.3.	Oportunidades.....	68
10.	Conclusiones.....	70
	Referencias.....	72
	Anexos.....	74
	Anexo A: Modelo de cálculo de la viabilidad económica.....	74
	Anexo B: Modelo de cálculo de la simulación de capacidad de baterías y motor eléctrico.....	76
	Anexo C: Fichas técnicas	79



Gandia

Listado de imágenes

Imagen 1. Lonja de Gandía.....	4
Imagen 2. Anzuelos recogidos del palangre.....	7
Imagen 3. Elementos flotantes y pesos del palangre.....	7
Imagen 4. Pesca con Trasmallo.....	8
Imagen 5. Red de trasmallo con salmonete de roca en el Puerto de Gandía.....	8
Imagen 6. Cadufos de plástico para pesca de pulpo	9
Imagen 7. Calado de una solta. Fuente: (Obarti Cerveró & Garcia i Sanz, 1992).....	9
Imagen 8. Pesca al curricán. Fuente: (Obarti Cerveró & Garcia i Sanz, 1992).....	10
Imagen 9. Recorrido de un día de pesca tipo palangre del barco.....	11
Imagen 10. Registro de velocidades de un día de pesca tipo palangre.....	13
Imagen 11. Sistema de navegación del barco de estudio.....	14
Imagen 12. Halador de palangre del barco de estudio.....	15
Imagen 13. Distribución del barco de estudio.....	15
Imagen 14. Motor del barco de estudio.....	16
Imagen 15. Hélice de un barco de artes menores.....	16
Imagen 16. Diagrama general del sistema eléctrico del barco bajo estudio.....	17
Imagen 17. Baterías de la embarcación bajo estudio.....	18
Imagen 18. Cuadro eléctrico del nivel del motor del barco de estudio.....	18
Imagen 19. Cuadro eléctrico de la parte popa del puente de mando del barco de estudio.....	19
Imagen 20. Cuadro eléctrico general del barco de estudio.....	19
Imagen 21. Bomba de achique de agua de mar del barco de estudio.....	20
Imagen 22. Control de mando independiente del timón del barco de estudio.....	20
Imagen 23. Aguja náutica y plotter del barco de estudio.....	21
Imagen 24. Radio del barco de estudio.....	21
Imagen 25. Esquema básico de un sistema de propulsión eléctrico.....	27
Imagen 26. Esquema básico de un sistema de propulsión eléctrico con generador de alterna.....	27
Imagen 27. Configuración en serie del sistema híbrido. Elaboración propia basada en (Proyectos Navales, 2021).....	29
Imagen 28. Configuración en paralelo del sistema híbrido. Elaboración propia basada en (Proyectos Navales, 2021).....	29
Imagen 29. Diferentes modos de funcionamiento del sistema híbrido. Fuente: (Bellmarine, 2021).....	31
Imagen 30. Esquema básico de un sistema de propulsión híbrido en paralelo.....	32
Imagen 31. Resultados de la simulación del barco de estudio.....	36
Imagen 32. Motor ShaftMaster del fabricante Transfluid.....	38
Imagen 33. Esquema del sistema eléctrico del sistema de propulsión. Fuente: (Bellmarine, 2013).....	39
Imagen 34. Sistema híbrido HM450 del fabricante Transfluid.....	40
Imagen 35. Esquema del sistema híbrido del sistema de propulsión. Fuente: (Transfluid, 2021).....	41
Imagen 36. Influencia del DoD sobre los ciclos de vida útil de las baterías Litio....	44
Imagen 37. Representación del coste de cada bloque del sistema de propulsión eléctrico propuesto.....	47
Imagen 38. Representación del coste de cada bloque del sistema de propulsión híbrido propuesto.....	48



Gandia

Imagen 39. Evolución de los flujos de caja netos acumulados a lo largo de la inversión del sistema de propulsión eléctrico propuesto.	53
Imagen 40. Evolución de los flujos de caja netos acumulados a lo largo de la inversión del sistema de propulsión híbrido propuesto.	54
Imagen 41. Variación del VAN en función de la tasa de actualización monetaria y el interés bancario del sistema de propulsión eléctrico propuesto.	55
Imagen 42. Variación del VAN en función de la tasa de actualización monetaria y el interés bancario del sistema de propulsión híbrido propuesto.	55
Imagen 43. Etapas de ciclo de vida consideradas. (De la Cuna a la Tumba).	58
Imagen 44. Comparación del ACV entre sistemas de propulsión.	61
Imagen 45. Comparativa de los impactos de los sistemas de propulsión por etapas.	61
Imagen 46. Impactos ambientales por etapa del sistema de propulsión térmico.	62
Imagen 47. Impactos ambientales por etapa del sistema de propulsión híbrido.	62
Imagen 48. Impactos ambientales por etapa del sistema de propulsión eléctrico.	63
Imagen 49. Resultados de la medición de ruido en el barco de estudio.	65

Listado de tablas

Tabla 1. Pesca registrada en los establecimientos de acuicultura de la Comunidad Valenciana.....	6
Tabla 2. Resumen de los datos registrados de la auditoría del barco.	11
Tabla 3. Resumen de los parámetros para los cuales se dimensiona el sistema de propulsión eléctrico del barco de estudio.....	12
Tabla 4. Principales diferencias de las opciones del sistema completamente eléctrico.....	26
Tabla 5. Principales diferencias de las opciones del sistema híbrido.....	31
Tabla 6. Resultados de la simulación del barco de estudio.	33
Tabla 7. Resumen de los aparatos del barco de estudio y consumos energéticos.	33
Tabla 8. Consumo eléctrico estimado de dispositivos auxiliares.	34
Tabla 9. Resultados del dimensionamiento del sistema de propulsión eléctrico...	35
Tabla 10. Resultados de la simulación por tramos del barco de estudio.	36
Tabla 11. Resultados del dimensionamiento del sistema híbrido.....	37
Tabla 12. Presupuesto del sistema de propulsión híbrido propuesto.	41
Tabla 13. Resumen de las diferentes alternativas del sistema de propulsión.....	42
Tabla 14. Recomendaciones de uso de la embarcación híbrida propuesta.....	45
Tabla 15. Presupuesto de la embarcación por bloques del sistema de propulsión eléctrico propuesto.	46
Tabla 16. Presupuesto de la embarcación por bloques del sistema de propulsión híbrido propuesto.....	47
Tabla 17. Ahorro económico y en emisiones del sistema de propulsión eléctrico propuesto.	50
Tabla 18. Ahorro económico y en emisiones del sistema de propulsión híbrido propuesto.	50
Tabla 19. Gastos, ahorros e inversión inicial del sistema de propulsión eléctrico propuesto.	51
Tabla 20. Gastos, ahorros e inversión inicial del sistema de propulsión híbrido propuesto.	51
Tabla 21. Flujo de caja del sistema de propulsión eléctrico propuesto.....	52
Tabla 22. Flujo de caja del sistema de propulsión híbrido propuesto.....	53
Tabla 23. Resumen de los resultados del sistema de propulsión eléctrico e híbrido.	56
Tabla 24. Elementos considerados en el ICV.....	59
Tabla 25. Resumen de los consumos de las cada una de las tres opciones.	60
Tabla 26. Resultado de las mediciones de ruido en el barco de estudio.	65



Gandía

1. Introducción

Gandía es un municipio y ciudad española situado al sureste de la provincia de Valencia, ubicada junto al mar Mediterráneo en la comarca de La Safor, a unos 70 km del centro de Valencia. Actualmente su economía se basa en el turismo, pues es uno de los principales destinos turísticos de España, la industria de la construcción y el comercio. En la temporada de verano, su población aumenta de alrededor de 80.000 a 300.000 personas.

El puerto de Gandía se empezó a construir en 1886, en la desembocadura del barranco de Sant Nicolau. Actualmente, el puerto está dedicado tanto al transporte de mercancías como a la pesca. Cuenta con una pequeña flota de embarcaciones familiares de artes menores. Al igual que ha ocurrido en el conjunto de España, el peso del sector pesquero ha ido disminuyendo en los últimos años, tanto en número de embarcaciones como en tasa de ocupación. Hay censadas aproximadamente 5 barcos de arrastre, 31 de artes menores pequeñas embarcaciones de pesca y 4 de cerco¹, y alrededor de 50 pescadores.



Imagen 1. Lonja de Gandía².

Cabe destacar el carácter familiar de la pesca en Gandía ya que normalmente, excluyendo los arrastreros, los barcos navegan con solo dos o tres tripulantes, en los que en la mayoría de los casos la tripulación está formada por miembros de la familia (hijos, hermanos, tíos, primos, ...). Aproximadamente 80 familias viven de la pesca (Herrera-Racionero et al., 2015).

El tipo de pesca que realiza el sector pesquero en Gandía es bajura/artesanal y las modalidades utilizadas son:

¹ Datos de la Generalitat Valenciana: <https://agroambient.gva.es/es/web/pesca/flota-pesquera>

² <https://artvalencia.com/visitas-guiadas-valencia/visita-guiada-gandia/>

- Cerquero
- Líneas palangreros
- Embarcaciones redes de enmalle
- Beta (suelta)
- Trasmallo
- Otros: Cadufos-marisqueo de moluscos bivalvos

Por su parte, dentro de las principales especies que generan un mayor volumen y facturación destacan el boquerón, la alacha, la sardina, el pulpo, la sepia o la tellina. En cuanto al periodo de captura, hay que destacar que todas las especies se pescan durante todo el año, excepto el boquerón y la sardina, cuyo periodo de captura comprende febrero-noviembre, el pulpo, noviembre-junio, y el salmonete, septiembre-enero (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2013).

Por otro lado, en Gandía se aplica la Política Pesquera Comunitaria (PPC) que tiene por objeto la explotación sostenible de los recursos pesqueros y de la acuicultura en el contexto de un Desarrollo Sostenible, teniendo en cuenta de manera equilibrada los aspectos medioambientales, económicos y sociales.

De acuerdo con ello, en este documento se presenta una alternativa para contribuir a los objetivos de PPC. Es decir, se va a desarrollar el estudio de la electrificación de las embarcaciones de pesca de artes menores y sus impactos a nivel económico, ambiental y social. Alternativa la cual contribuirá a tener un ecosistema natural más sostenible al emitir menos gases contaminantes y haber menos vertidos de hidrocarburos inquemados productos de la combustión, y la reducción de la contaminación acústica, lo que mejorará las condiciones laborales de los trabajadores, entre otros.



Gandía

2. Estudio de la embarcación

El proceso de pesca varía según la especie objetivo y la época del año en que se realiza. En Gandía, según los pescadores, de octubre a enero se hace más pesca de piedra. En primavera se pesca todo tipo de pescado y en invierno se centran más en la sepia, lenguado, entre otros.

El horario de pesca también varía, por ejemplo, en épocas más veraniegas se coloca el cebo de noche y se recoge de día, mientras que, en invierno al revés, se tira de día y se recoge de noche. También, dependiendo de la meteorología del día, si hace más viento, más marea o al revés, puede convenir hacer ciertos tipos de pesca. Por ejemplo, cuando hace buen tiempo compensa hacer pesca de palangre porque se pesca más, mientras que si hace mal tiempo se pesca más con la red.

2.1. Descripción de la pesca en Gandía

La pesca constituye una importante actividad económica en la Comunidad Valenciana. De hecho, la pesca emplea a unas 3.000 personas de modo directo y en los últimos años, solo en establecimientos de acuicultura, se han registrado las siguientes cantidades.

Tabla 1. Pesca registrada en los establecimientos de acuicultura de la Comunidad Valenciana³.

Especies	2016	2017	2018	2019	2020
Anguila	329,88	292,3	339,4	318,1	338,04
Corvina	1.935,69	3.583,43	3.909,5	4.124,8	4.817,99
Dorada	4.794,51	5.141,22	7.344,92	6.528,2	2.894,28
Lubina	4.424,6	5.001,32	4.423,14	4.560,8	9.210,56
Seriola	-	-	-	47,6	92,9
Mejillón	959,68	895,57	891,89	1.078,2	958
Ostra europea	1,31	-	-	-	-
Ostra rizada	29,51	26,72	34,14	40,6	27,9
Zamburiña	0,74	-	-	-	-
Total	12.475,92	14.940,56	16.942,99	16.698,3	18.339,67

Cabe resaltar que la cantidad de pesca de acuicultura se ha mantenido, e incluso aumentado ligeramente, en contraste con la pesca de artes menores, que cada año se pesca menos por el agotamiento de los fondos marinos (Fonseca & Solís, 2019).

2.1.1. Tipos de pesca

A continuación, se describen brevemente los tipos de pesca (Obarti Cerveró & García i Sanz, 1992):

³ <https://agroambient.gva.es/va/web/pesca/produccion>



Gandia

- **Líneas de palangre:** consiste en una línea madre de monofilamento (palangre) de 2 a 5 mm a la cual se atan brazoladas en cuyos extremos penden anzuelos. Al palangre también se le atan un elemento flotante al final y al principio del palangre para saber dónde empieza y termina. Cada cierta distancia también se le ata un peso para que el palangre permanezca a cierta distancia del fondo. Los anzuelos pueden ser diferentes dependiendo del tipo de género que se quiere pescar. Por ejemplo, en caso de querer pescar doradas se suelen utilizar gambas o pedazos de pulpo, entre otros, para variar un poco.

A continuación, se muestran algunas imágenes de las herramientas que se usan.



Imagen 2. Anzuelos recogidos del palangre.



Imagen 3. Elementos flotantes y pesos del palangre.

- **Trasmallo:** es uno de los artes menores de mayor importancia y muy tradicional. Consiste en una pieza formada de tres paños de red, cosidas a las mismas relingas. Los paños exteriores definidores de las medidas de la unidad de captura son iguales entre sí y tienen las mismas mallas con idénticas dimensiones e igual diámetro de hilo. El paño interior o central dispone de mallas de menor tamaño.



Gandia

La malla y la época de calado dependen de las especies objetivo, siendo las principales el lenguado, el salmonete de roca, los espáridos en general (dorada, besugo, dentón, sargo, etc.) y los peces de roca.



Imagen 4. Pesca con Trasmallo⁴.



Imagen 5. Red de trasmallo con salmonete de roca en el Puerto de Gandía.

- **Cadufo o alcatruz:** consiste en una serie de recipientes que se calan en el fondo marino. Se suelen calar en fondos de área o limpios de rocas y/o algas, en los que los pulpos entran buscando refugio y pasadas unas horas de su calado se recogen. Si hay una hembra en el cadufo normalmente se pueden encontrar varios machos.

Los cadufos están dispuestos en un cabo que hace la función de línea madre en el fondo marino y se recogen por halador. Para calarlo se larga un razón o muerto que mantendrá en el fondo el cabecero del arte. Hoy en día están hechos de plástico (PVC) y se balizan con boya y bandera al principio y al final del arte.

⁴https://www.ametllamar.cat/turisme/es/punto-de-interes/artes-menores-trasmallo-pesca-turismo_2151/



Imagen 6. Cadufos de plástico para pesca de pulpo ⁵.

- **Beta (solta):** consiste en una red simple de un solo paño, con una relinga de plomos en la parte inferior y otra de corchos en la parte superior, la presa queda atrapada en la red por las agallas. El tamaño de la red depende de la especie que se desee capturar.

En algunos puertos se dejan caladas toda la noche, pero por lo general los pescadores suelen hacer una calada a última hora del día que recogen después de la puesta del sol y otra calada antes de amanecer que recogen unas horas después (Obarti Cerveró & Garcia i Sanz, 1992).



Imagen 7. Calado de una solta. Fuente: (Obarti Cerveró & Garcia i Sanz, 1992).

- **Fluixa y curricán:** es un tipo de pesca que se puede hacer a bordo de una embarcación parada o en movimiento dependiendo de la especie objetivo. Se trata de un arte anzuelo compuesto de un cabo al que se unen uno o varios anzuelos.

Se lleva a cabo cuando dos o más “fluixes” por la banda, amarrando cada una a un punto fuerte a bordo con un cabo fino que se rompe cuando el pez muerde el anzuelo. Se lanza la carnada, dirigida a donde está calado el aparejo y se espera a que los atunes, que son la especie buscada, piquen. También se puede llegar a capturar bonito. Cuando el pez asoma la cabeza

⁵ http://grupo.us.es/puertosandaluces/p12_36redes.html#_



Gandia

por la superficie se le clava un gancho con el que se lanza a bordo con la ayuda del halador.

La diferencia entre el curricán y la fluixa se basa en que en el curricán la línea se sostiene mediante cañas, pudiendo usarse más de un aparejo.



Imagen 8. Pesca al curricán. Fuente: (Obarti Cerveró & Garcia i Sanz, 1992).

2.1.2. Gasto de energía

Juntamente con el gasto en mantenimiento del barco y el pago de la seguridad social, entre otros, el gasto en combustible es un factor muy a tener en cuenta en la economía de los pescadores. En el consumo de combustible influye mucho la velocidad de navegación y las horas navegadas, así como el régimen de funcionamiento del motor. A mayores velocidades el motor entregará una mayor potencia y consumirá más combustible.

La velocidad habitual de navegación de las embarcaciones de artes menores es de alrededor de 9 nudos, aunque puede variar ligeramente dependiendo de la potencia del barco y del temporal, entre otros. También durante la pesca la velocidad cambia dependiendo de si es estática o en movimiento. Mientras que la velocidad máxima permitida en la salida y entrada del puerto es de 3 nudos.

En la pesca tipo palangre, por ejemplo, durante el calado de la línea de palangre en el fondo el barco navega a una velocidad cercana a 4-6 nudos. Mientras que cuando se recoge, se circula a una velocidad de 1-2 nudos debido a que tienen que recoger los ejemplares pescados y colocar el palangre debidamente y arreglar algún desperfecto en la línea.

Según la experiencia de los trabajadores, la pesca tipo palangre es la más laboriosa y en la que más combustible se consume. En este tipo de pesca, dependiendo del número de líneas que se hagan y de la distancia al lugar de pesca, entre la salida y entrada del puerto pueden pasar 8-9 horas, por ejemplo. Mientras que con la pesca cadufo, por ejemplo, habitualmente se cala y al día siguiente se recoge.

En la auditoría del barco se acompañaron a los trabajadores dos días en su jornada laboral, en los que se hicieron mediciones del recorrido realizado, la velocidad de



Gandia

circulación de la embarcación y el consumo de combustible. En ambos días se practicaron la pesca tipo palangre para la pesca de doradas en la zona de Tavernes.

A continuación, se presenta uno de los recorridos realizados en el que se hicieron tres líneas de palangre en la zona de Tavernes.

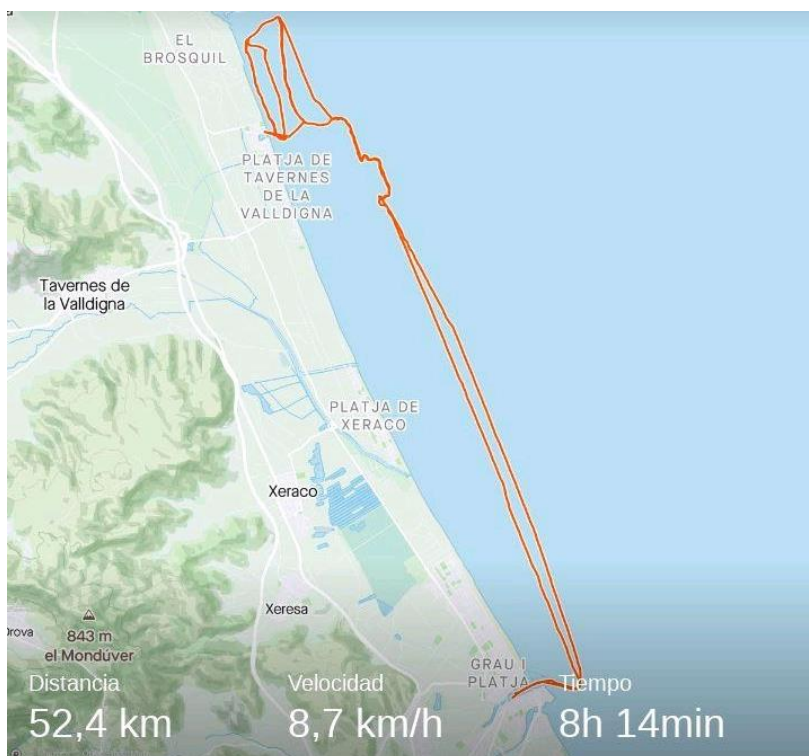


Imagen 9. Recorrido de un día de pesca tipo palangre del barco.

Respecto al consumo de gasoil, en la siguiente tabla se muestran los registros de ambos días:

Tabla 2. Resumen de los datos registrados de la auditoría del barco.

Concepto	Primer día	Segundo día
Consumo de gasoil	75	60
Líneas de palangre	4	3
Zona de pesca	Tavernes	Tavernes
Cantidad doradas pescadas (kg)	60	30
Tiempo faenado	8h 37 min	8h 14 min
Distancia recorrida (km)	50,3	52,4

En el segundo día se pescó menos porque se echaron menos líneas y más próximas a la costa, y en el primer día se recorrió menos distancia porque se pescó un poco más cerca. Cabe resaltar también que el barco tiene un motor grande y de gran potencia, comparado con el resto de los barcos de artes menores. Por lo que, según el capitán del barco, para el mismo trabajo el resto de los barcos de artes menores consumirían alrededor del 60%. El resto de los barcos de artes menores pesan entre 6-8 tn, menos que los 11-11,5 tn del barco de estudio, según la experiencia del capitán del barco.



Gandía

2.1.3. Patrones de consumo

Habitualmente no se pesca a más de 10 millas de la costa. Pero cuando se quiere pescar peces de roca, como la que se hace en las islas Columbretes por ejemplo, se van a más de 10 millas y se puede estar varios días pescando. Aunque lo habitual es que no se pasen varios días pescando sino un día, es decir, salir a faenar al alba y volver al medio día, por ejemplo.

Por otra parte, lo habitual para los barcos de Gandía es que como mucho se pesque hasta Tavernes y hasta les Deveses, para no coincidir con los otros barcos de artes menores de las cofradías de pescadores de Cullera y Denia. En caso de coincidencia se respeta el pescador que pesca por más tiempo, el más veterano.

Por lo que, las jornadas laborales habitualmente pueden consistir en 4-8 horas navegando, y 1-2 de horas extras dedicadas a la preparación de las herramientas de pesca y venta del género.

Finalmente, como se ha mencionado anteriormente, según la experiencia de los pescadores la pesca tipo palangre es la más laboriosa y con la que más se consume combustible. Hay que resaltar que durante la pesca se estuvo una hora detenidos a la espera de que las doradas picasen.

Por ello, se van a dimensionar el sistema eléctrico para jornadas laborales como la descrita. Con ello y con los datos y planos de la ficha técnica del barco, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros para los cuales se diseñará el sistema de propulsión eléctrico del barco de estudio.

Tabla 3. Resumen de los parámetros para los cuales se dimensiona el sistema de propulsión eléctrico del barco de estudio.

Parámetro	Valor
Tiempo de navegación (h)	9,00
Peso de la embarcación (tn)	11,50
Velocidad media de navegación (km/h)	8,70
Velocidad del viento (km/h)	30,00
Área sumergida (m ²)	49,69
Área frontal (m ²)	10,50
Rendimiento del sistema de propulsión	55%
Rendimiento del motor eléctrico	90%
Rendimiento del sistema electrónico	95%
Tramos durante la pesca	<ul style="list-style-type: none">- Ida al lugar de pesca: 1 h y 15 min (9 nudos)- Disposición línea palangre: 1h y 15 min (5 nudos)- Parada descanso y espera: 1 h- Recogida de la pesca: 3 h y 45 min (1,5 nudos)- Vuelta del lugar de pesca: 1 h y 15 min (9 nudos)

En el rendimiento del sistema de propulsión está incluido las pérdidas en el eje de rotación, en las hélices y el casco del barco, entre otros (F. Molland, 2011).

Para el dimensionamiento del sistema de propulsión eléctrico se tendrá en cuenta la siguiente curva de velocidades registradas como se ha descrito en la anterior sección (hora de salida las 4 am y hora de vuelta las 1 pm).

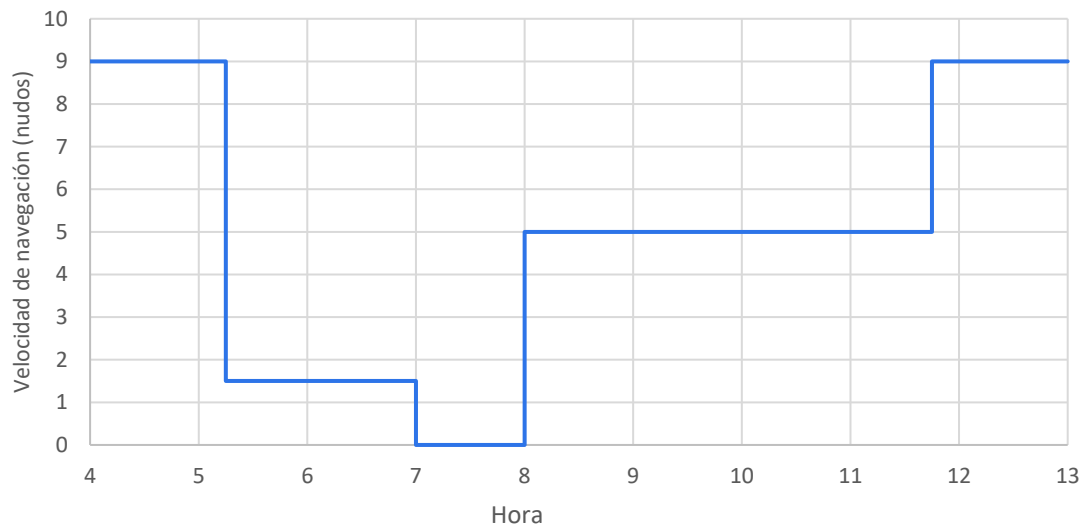


Imagen 10. Registro de velocidades de un día de pesca tipo palangre.

Los momentos en los que se navega a velocidades muy inferiores a las habituales, como cuando se recoge la línea de palangre por ejemplo, son interesantes a la hora de optimizar porque para esos regímenes de revoluciones los motores térmicos funcionan a rendimientos bajos.



Gandía

3. Descripción y auditoría de la embarcación

En esta sección se van a describir los componentes y los usos energéticos de los sistemas funcionales del barco de estudio. Tales como el sistema motor, el sistema eléctrico y el sistema hidráulico y electrohidráulico.

3.1. Descripción de la embarcación

El barco de estudio es una embarcación de artes menores que amarra junto a la lonja de la Cofradía de Pescadores en el puerto de Gandía. La embarcación clasificada como de litoral, y a pesar de ser una embarcación de artes menores, es de las que tiene mayor autonomía y capacidad tienen en el puerto de Gandía.

El barco tiene una eslora total de 12,83 metros, una manga de 3,50 metros y un puntal de 1,11 metros. Dispone de un motor propulsor diésel SCANIA DN 12-M.M con 129 kW (175 HP) de 6 cilindros, con turbo e intercooler. Y también dos depósitos de combustibles de 1,20 m³ cada uno, en cada lado del motor. El casco del barco está hecho de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), que es un material formado por una matriz polimérica y fibras de vidrio.

Por otro lado, en la parte de proa está situado el timonel desde donde se controla la navegación del barco. A estribor se tienen las maquinillas que ayudan en las labores de pesca.



Imagen 11. Sistema de navegación del barco de estudio.



Imagen 12. Halador de palangre del barco de estudio.

En la siguiente imagen se muestra la distribución del barco de estudio.

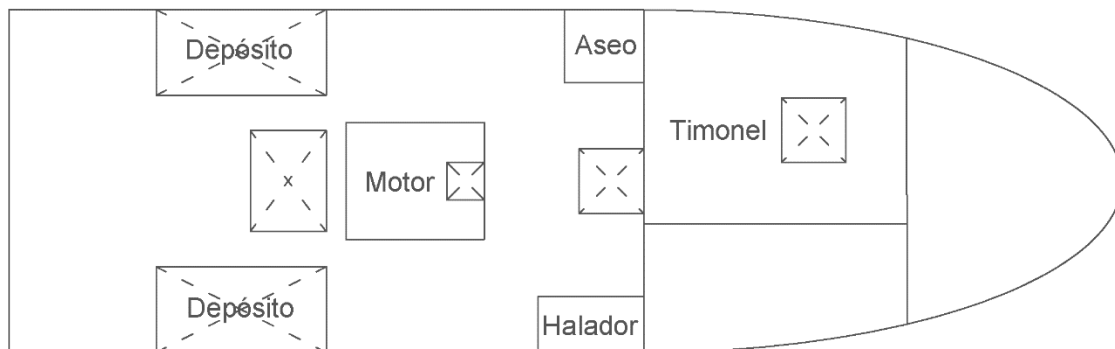


Imagen 13. Distribución del barco de estudio.

3.2. Descripción de los componentes de la embarcación

En la embarcación hay diferentes sistemas energéticos que se encargan de dar energía a los diferentes componentes de la embarcación. Desde el sistema eléctrico que se encarga de proporcionar energía eléctrica al equipamiento náutico y aparatos de a bordo, como el sistema electrohidráulico de los aparatos de medios de carga y descarga y manejo de artes.

3.2.1. Sistema mecánico

Se encarga de transferir la energía producida por la combustión de gasoil al giro de la hélice que provoca que el barco se mueva. Se basa principalmente en un motor diésel que por la combustión hace girar el eje, en cuyo extremo se conecta una hélice.



Imagen 14. Motor del barco de estudio.

El motor es diésel transfiere el movimiento giratorio al eje, que es de acero inoxidable de 80 mm de diámetro sin camisa en los puntos de apoyo. En el extremo del eje se conecta la hélice, que habitualmente son de 3-5 palas de acero inoxidable. Y, por último, el ancla es de leva, que va en proa, y se ata con una cadena de 50 metros de longitud.



Imagen 15. Hélice de un barco de artes menores.

3.2.2. Sistema eléctrico

Se encarga de proporcionar la energía eléctrica que consumen los aparatos eléctricos del barco. Se basa principalmente en un grupo electrógeno, conectado al eje del motor, que genera la energía eléctrica que se consume en el barco. Al

grupo electrógeno se le conecta dos baterías que almacenan la energía para el cuadro general del equipamiento del barco y otras dos a 24 V para las luces del barco.

Respecto al tipo de energía, el grupo electrógeno genera la energía eléctrica en continua y se almacena en baterías a 24 V. Posteriormente, las baterías se conectan a inversores/conversores (electrónica de potencia) para transformar la energía eléctrica de continua a alterna y elevar la tensión, que es la energía que consumen los aparatos en el barco. Adicionalmente, se cuenta con otro grupo electrógeno auxiliar para asegurar el suministro de energía de los aparatos indispensables, como la radio y algunas luces, como las de emergencia. El siguiente diagrama presenta un esquema del sistema eléctrico:

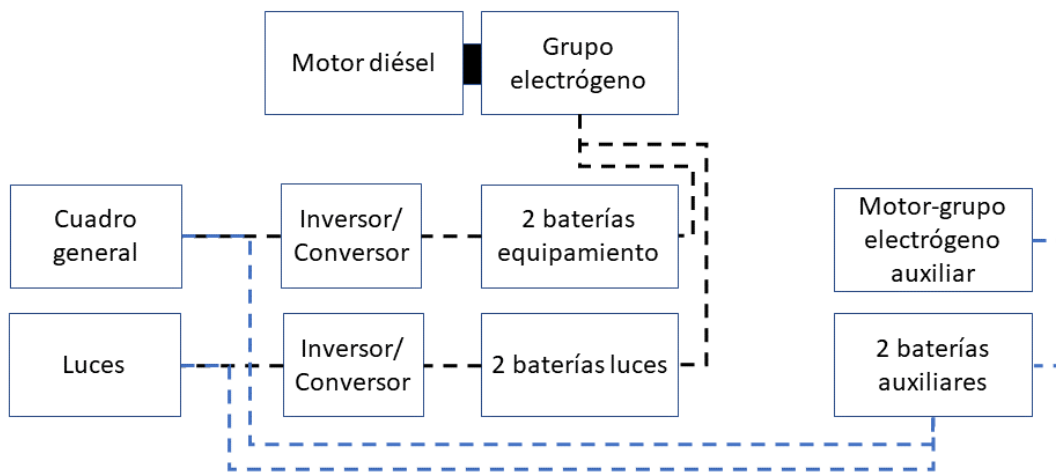


Imagen 16. Diagrama general del sistema eléctrico del barco bajo estudio.

A continuación, se presentan imágenes de las baterías y los cuadros eléctrico de la instalación eléctrica del barco de estudio.

- **Baterías:** se usa el mismo modelo de baterías para el equipamiento como para las luces de la embarcación. Las baterías son de AGM del fabricante VARTA, serie Promotive. Cada una es de 12V y 240 Ah, con una corriente de arranque de hasta 1200 A.



Imagen 17. Baterías de la embarcación bajo estudio.

- **Cuadros eléctricos generales:** en la embarcación hay varios cuadros eléctricos. Uno de ellos está a nivel del motor, y sirve para la conexión de los aparatos eléctricos como las baterías, las protecciones eléctricas, bomba de extracción de aguas sentinas, etc.



Imagen 18. Cuadro eléctrico del nivel del motor del barco de estudio.

En la parte del puente de mando se encuentran dos cuadros eléctricos. El primero de ellos se dedica a los componentes situados más a popa del puente de mando y la popa del barco. Componentes tales como microondas, aparato de aire acondicionado y monitor de pantalla, entre otros.



Imagen 19. Cuadro eléctrico de la parte popa del puente de mando del barco de estudio.

Por otro lado, en el puente de mando también está el cuadro eléctrico general del barco, en el cual están los interruptores automáticos de las luces, transformador, ordenador, GPS, etc. que funcionan a 220V y las luces de emergencia, bomba de agua, hélice de proa, etc. que funcionan a 24V.



Imagen 20. Cuadro eléctrico general del barco de estudio.

3.2.3. Sistema hidráulico y electrohidráulico

Es el sistema que se encarga de bombear el líquido refrigerante del motor, de evacuar el agua de las sentinas y de accionar los elementos electrohidráulicos del manejo de artes de pesca.

La refrigeración del motor se basa principalmente en coger agua del mar que se hace circular por unos conductos por la presión que proporciona la bomba, para posteriormente devolver el agua se devuelve al mar.

La evacuación de las aguas se debe principalmente al agua de cubiertas superiores que se van recogiendo en las sentinas, y que se extrae para evitar problemas de salubridad. La evacuación funciona de manera similar a la refrigeración, se evacúan las aguas por la acción de la bomba que le da la presión necesaria para elevarla y extraerla.



Imagen 21. Bomba de achique de agua de mar del barco de estudio.

Por otro lado, los componentes electrohidráulicos principales son el servomotor, que sirve para mover el timón en la dirección deseada, y las maquinillas (aparatos de carga/descarga y manejo de artes), que se encargan de realizar el trabajo mecánico.



Imagen 22. Control de mando independiente del timón del barco de estudio.

3.2.4. Sistema de navegación

Es el conjunto de aparatos que se encarga de proporcionar la información de navegación necesaria al capitán del barco. Los componentes principalmente en la navegación son la radio VHF, la sonda, GPS, correderas y plotter, entre otros.

Con la radio VHF se está en contacto con el resto de las embarcaciones y con la estación costera, ya sea para pedir información o para solicitar ayuda en caso de emergencia. Mientras que con la sonda se mide el fondo para evitar que el barco encalle y con la aguja náutica se sabe la dirección en la que se está navegando.

Con el GPS se muestra la ruta y duración del recorrido realizado. Además, con la corredera se puede saber la velocidad en nudos a la que se navega y con el plotter, que muestra la carta náutica, se puede saber la posición exacta y el rumbo que se ha seguido. En el plotter además se pueden almacenar los recorridos realizados anteriormente y anotar sobre ellos datos de interés.



Imagen 23. Aguja náutica y plotter del barco de estudio.



Imagen 24. Radio del barco de estudio.



Gandia

4. Escenarios a analizar

En esta sección se van a explicar los diferentes escenarios a analizar para la electrificación de la embarcación de estudio. Los escenarios son un sistema completamente eléctrico y un sistema híbrido, el cuál puede realizarse aprovechando el MCIA actual.

4.1. Embarcación completamente eléctrico

En los siguientes apartados se presentan las diferentes tecnologías disponibles en el mercado para los componentes del sistema de propulsión completamente eléctrico y se describen los escenarios.

4.1.1. Ventajas y desventajas

En primer lugar, se describen las ventajas y desventajas de los sistemas de navegación completamente eléctricos.

Aunque las embarcaciones eléctricas siguen siendo un producto novedoso en el mercado náutico, y mucho más para la pesca profesional, cada vez son más los avances que se realizan al respecto para reducir el impacto medioambiental de los mismos.

Los barcos eléctricos comportan múltiples ventajas en muchos aspectos en comparación con un barco convencional. A continuación, se describen las ventajas.

- **Son más sostenibles:** utilizan energía eléctrica en lugar de combustibles fósiles, por lo que se evitan los derrames en el mar de hidrocarburos producto de la combustión, que en mayor o menor medida siempre se produce. Además, se reducen las emisiones de CO₂ equivalente, pues la energía eléctrica del mix energético de la red eléctrica en España tiene un coeficiente de emisiones menor que el coeficiente de emisiones de gasoil.
- **Son más sencillos de usar:** los motores eléctricos son más pequeños y confieren a los barcos una mayor maniobrabilidad, ya que desaparecen la caja de cambios y el embrague. También son más ligeros y facilitan los giros sobre el barco.
- **Requieren menor mantenimiento:** los motores eléctricos en general son muy robustos, incluso a bajas cargas presentan buenos rendimientos, y casi no requieren mantenimiento en comparación con uno de combustión convencional. Especialmente, los motores de trifásicos de jaula de ardilla, que podría estar toda su vida útil sin necesitar mantenimiento.
- **Ahorro en combustible:** aunque durante el año 2021, ha habido un incremento significativo del precio tanto en gasoil como en la energía eléctrica, la energía eléctrica tiene un coste menor para un mismo uso energético final. Por lo que una embarcación eléctrica se ahorra en combustible.
- **Son más silenciosos:** emiten menos ruido comparado con los motores térmicos convencionales. Lo que favorece las condiciones laborales de los trabajadores,

ya que dejan de percibir niveles de ruido próximos a los 75 dB(A), valor a partir del cual se considera existente el daño producido en la capacidad auditiva por la contaminación acústica.

La principal desventaja de los barcos eléctricos son su **elevada inversión inicial, debida principalmente a los costes del sistema de almacenamiento**. Además, la falta de conocimiento de este tipo de sistemas por parte del sector pesquero podría ser una barrera al principio que seguramente se supere con el tiempo debido a la facilidad de uso y a las ya mencionadas ventajas de los sistemas de propulsión eléctricos. Además, al tener las baterías un elevado coste, no existe un almacenamiento energético tan elevado como en el caso de tener depósitos de gasoil. Por ello, en casos extremos en el mar, existe un riesgo de falta de energía para volver a puerto.

4.1.2. Motor eléctrico

Es el encargado de transmitir potencia a la hélice, transformando energía eléctrica en mecánica. Los motores eléctricos más usados en la industria son los trifásicos de corriente alterna, ya que con el sistema trifásico se genera un campo magnético rotatorio en el entrehierro que permite el movimiento mediante sistemas síncronos o asíncronos. El sentido de rotación puede cambiarse (permitiendo así la marcha atrás de una embarcación). Algunos motores eléctricos, no tienen escobillas en el rotor, y por tanto tienen un bajo mantenimiento y sencillez, en su construcción, como es el caso de los motores asíncronos de jaula de ardilla.

Para propulsar las hélices (sistema mecánico) se plantean las diferentes tecnologías de motores de corrientes alterna trifásicos, los cuales se pueden clasificar entre motor síncronos y asíncronos. A continuación, se explican y desventajas de cada uno de ellos:

Motores asíncronos: se caracteriza porque el giro del rotor es menor que la velocidad de giro del campo magnético producido por el estator. Se componen básicamente de un rotor, que puede ser de jaula de ardilla o bobinado, y de un estator, donde se alojan las bobinas inductoras, en un sistema trifásico que produce un desfase de 120° entre fases (Serrano Iribarnegaray & Martínez Román, 2017). Las ventajas de este tipo de motores son su capacidad de generar un par motor constante, su fiabilidad, su alta eficiencia, son económicos y vibran poco (muy silenciosos). Sin embargo, su densidad de potencia es baja al igual que su par de arranque.

Motores síncronos: se caracteriza porque el estator produce una velocidad de giro que es igual a la velocidad con que gira el rotor. A diferencia de los motores asíncronos, no tiene par de arranque y necesita un método de arranque que permita llegar a la velocidad cercana o igual a la de sincronismo (Variador de frecuencia, arranque como asíncrono o motor auxiliar). Otra característica es que permite regular el factor de potencia. De entre ellos destaca los de rotor bobinado y los de imanes permanentes. En especial, los motores de imanes permanentes son los que más se han extendido entre los vehículos eléctricos por su menor tamaño y elevada eficiencia. Usan imanes permanentes incrustados en el rotor. Con lo que no necesita excitación externa ni escobillas para generar el campo



Gandia

magnético en el rotor y hacerlo girar cuando se expone al campo generado externamente en el estátor. Se requiere un controlador para regular la velocidad y el par.

En el caso de la embarcación de estudio y su aplicación se propone la selección de un motor síncrono de imanes permanentes debido a que estos motores son compactos, tienen alta precisión, buen rendimiento incluso a baja carga, pese a que el coste es más elevado (Sagredo González & Abad San Martín, 2014). Sin embargo, cabe destacar que también se podrían utilizar motores asíncronos de jaula de ardilla para este tipo de aplicaciones.

4.1.3. Sistema de almacenamiento en baterías

Es el conjunto de componentes que se conectan entre sí para almacenar la energía que se consumirá durante la navegación. Principalmente está compuesto por las baterías, en las que se almacena la energía, empleando procedimientos electroquímicos, que tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente con eficiencias muy elevadas, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces. Habitualmente, el sistema de almacenamiento no está compuesto por una única batería, sino por varias baterías que se conectan en serie/paralelo para obtener la capacidad deseada.

Para el sistema de almacenamiento se han estudiado las dos tecnologías más habituales y fiables de la actualidad, las baterías de ácido-plomo y las de iones de litio. Cada una de ellas tienen sus ventajas y desventajas, las cuales las más relevantes se describen a continuación:

Almacenamiento en baterías de Ácido Plomo-ácido: comparadas con las de iones de litio las baterías de plomo ácido son de bajo coste, pero son pesadas y el tiempo de recarga es lento, además de que el plomo es tóxico. Son una tecnología madura y han sido las más utilizada en vehículos convencionales que funcionan con motores de combustión interna (para encendido y sistema eléctrico). Han ido evolucionando con el tiempo y una de las opciones más fiables de entre ellas son las AGM plomo-ácido (Cueva et al., 2018). Éstas son completamente estancas y no requieren de mantenimiento ni ventilación, además que se pueden cargar y descargar de manera rápida. Dependiendo de la tecnología utilizada, este tipo de baterías se diseñan para una profundidad de descarga máxima de entre 30 y el 80% para no afectar al número de ciclos de vida. Por tanto, por ejemplo, si no se quiere sobrepasar de un 50% de descarga se debe instalar el doble de capacidad. En caso de utilizar este tipo de sistema se recomienda seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a la profundidad de descarga, para no disminuir la vida útil de las baterías. Como norma general no utilizar una profundidad de descarga del más del 70-80% si las baterías son del tipo OPzS y del 60% si son tradicionales abiertas, AGM, o gel.

Almacenamiento en baterías de Iones de Litio: Comparadas con las baterías de plomo ácido, son baterías ligeras y tienen una capacidad de recarga rápida. Sin embargo, su mayor desventaja radica en su alto coste y deben estar almacenadas en condiciones óptimas debido a su poca resistencia a altas temperaturas e impactos. Actualmente son la tecnología mejor posicionada para ser utilizada en los vehículos eléctricos. No requieren mantenimiento ni emiten gases, por lo que

pueden ir instalados de interiores. Este tipo de baterías se diseñan para no descargarse más de un 80-100% de su capacidad para no afectar al número de ciclos de vida. En caso de utilizar este tipo de sistema se recomienda seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a la profundidad de descarga, para no disminuir la vida útil de las baterías. Las profundidades de descarga suelen estar en torno al 90%

4.1.4. Sistema de recarga

Son el conjunto de componentes que intervienen en el proceso de carga del sistema de almacenamiento. Principalmente está compuesto por el **cargador** de las baterías, en este caso es una máquina que se alimenta de la red (a 230 V en corriente alterna) y la convierte a DC, a una tensión superior a la nominal para poder cargar las baterías.

Existen diversos tipos de cargador para vehículos eléctricos o sistemas renovables. En el caso de vehículos eléctricos existen diferentes tipos de conector, de los que depende la velocidad de carga de las baterías. El más habitual es el cargador con conector tipo VDE-AR-E 2623-2-2 (Mennekes) ya que pueden alcanzar potencias del orden de 40 kW como máximo, aunque partiendo de potencias menores del orden de 4 kW, dando un rango amplio de tiempo de carga (Maza Ortega & Gómez Expósito, 2019).

Algunos cargadores disponen de algoritmos de carga para evitar problemas de corrosión, exceso de gaseado, sulfatación y estratificación del electrolito, que son los causantes de la mayoría de los fallos de las baterías.

Para el sistema de recarga se plantean dos alternativas, que en conjunto con el resto de la flota de embarcaciones pueden ser complementarias. Disponer de cargadores de baterías portátiles situados en el barco lentos y/o disponer de estaciones de recarga rápida situados en el puerto. Cada una de las alternativas tienen sus ventajas y desventajas, las cuales se presentan a continuación.

Cargador de baterías portátil: tienen la ventaja de los conectores tipo schuko (enchufe normal), o se dispone de adaptadores del conector, que se pueden conectar a cualquier establecimiento en que tengan conexión a la red eléctrica de baja tensión. No obstante, como tienen una baja tensión de alimentación (230 V) y la corriente de carga para la que se diseña es de hasta 16 A, por lo que la potencia de carga es reducida comparada con la de los puntos de carga de los vehículos eléctricos (Maza Ortega & Gómez Expósito, 2019). Y, por tanto, se tarda más en cargar las baterías. La baja potencia de carga puede llegar a ser una desventaja si no se dispone de mucho tiempo para cargar o si la capacidad de las baterías es elevada, pero si se dispone de tiempo suficiente no es un factor determinante. Por otro lado, la carga lenta favorece la vida útil de las baterías.

Puntos de carga: tienen la ventaja de que presentan mayores velocidades de carga pues se conectan a la red de baja, media y alta tensión para poder dar mayores potencias de carga. Desde pocos 5 kW hasta más de 100 kW. Se instalan en puntos estratégicos para poder dar servicio al mayor número de vehículos posibles. Uno de los inconvenientes es su elevado coste de instalación en comparación con los cargadores de baterías portátiles. Sin embargo, sirven para más de un vehículo.



Gandia

Dado que la embarcación necesita 329 kWh (AGM/GEL) o 189 kWh (litio) y a que habitualmente se dispone de gran parte de la tarde y de la noche (12 horas), necesariamente se necesitan cargar mediante puntos de carga de 20-34 kW. No obstante, en el sistema híbrido en paralelo, como se verá más adelante, las baterías se pueden cargar mediante el motor de combustión, por lo que necesariamente no haría falta instalar puntos de recarga o disponer de cargadores portátiles.

4.1.5. Escenario sistema completamente eléctrico

El sistema completamente eléctrico está compuesto principalmente por un motor eléctrico, un sistema de almacenamiento y un sistema de recarga. Entre ellos, el sistema más costoso es el de almacenamiento. Respecto a ello, las opciones son variadas pues puede disponerse únicamente de baterías y necesitar un punto de recarga en el puerto o disponerse de un generador que cargue las baterías.

En caso de disponer únicamente de baterías los ahorros en emisiones, combustible y mantenimiento serían mayores, aunque *a priori* el coste de inversión inicial y el peso de las baterías serían notables.

Por otra parte, en caso de disponer de un generador a bordo para cargar las baterías, la capacidad de almacenamiento necesaria podría ser menor, pues cuando las baterías se descarguen se podría encender el generador y cargarlas. No obstante, la capacidad de las baterías no debe ser mucho menor para que el generador no se esté encendiendo y apagando continuamente. Con ello, se ahorraría menos en emisiones, combustible y mantenimiento en comparación con el caso de tener todo baterías.

Tabla 4. Principales diferencias de las opciones del sistema completamente eléctrico.

Sistema	Eléctrico	Eléctrico y generador
Coste inversión inicial	A priori mayor coste debido a que todo serían baterías	Menor coste pues se necesitaría menos capacidad de baterías
Ahorros económicos	Mayor ahorro en emisiones, combustible y mantenimiento por sus mejores rendimientos de funcionamiento.	Menor ahorro en emisiones, combustible y mantenimiento pues el sistema se sigue gasoil para la recarga de las baterías.

El esquema básico del sistema con solo baterías sería el siguiente:

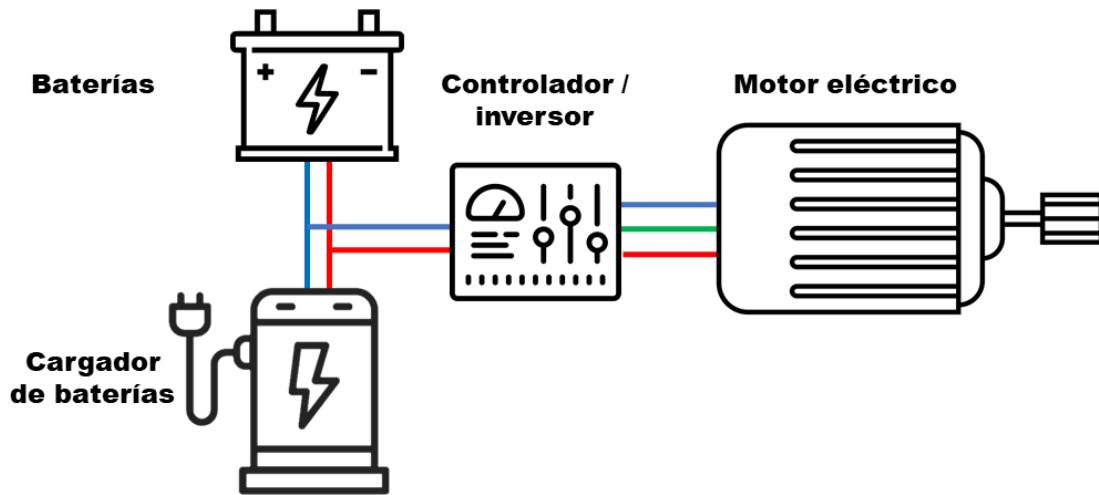


Imagen 25. Esquema básico de un sistema de propulsión eléctrico.

Por otro lado, el esquema del sistema con generador sería el siguiente:

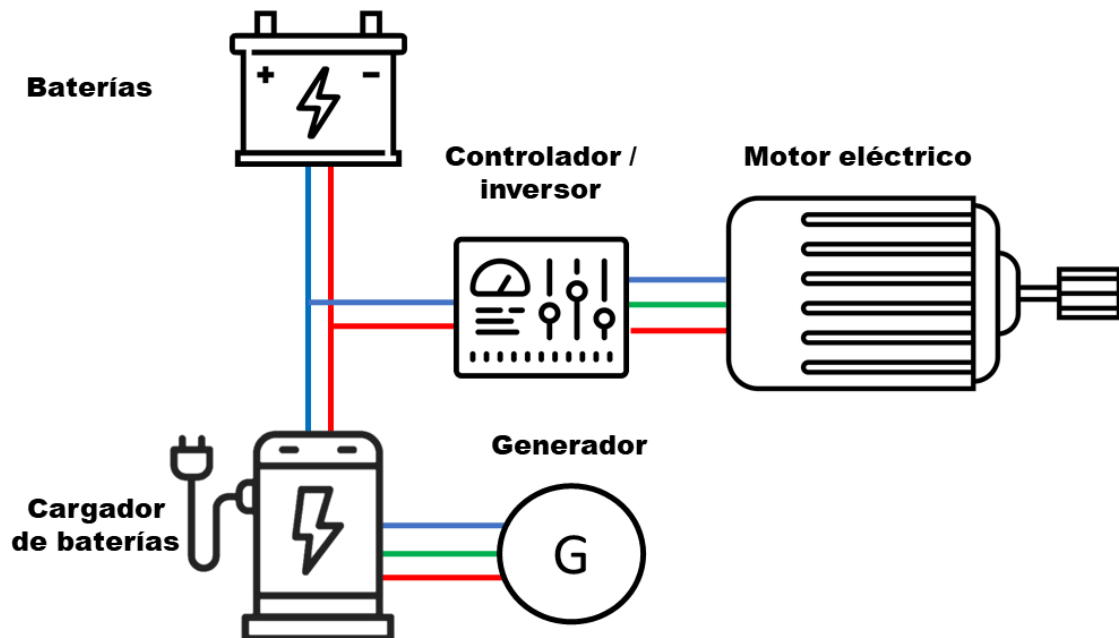


Imagen 26. Esquema básico de un sistema de propulsión eléctrico con generador de alterna.

4.2. Barco híbrido

En los siguientes apartados se presentan las ventajas y desventajas del sistema híbrido, los diferentes escenarios del sistema según su configuración y según el aprovechamiento del motor actual y las formas de uso.

Las tecnologías más adecuadas relativo al motor eléctrico y al sistema de almacenamiento son las mismas que para la opción completamente eléctrico. es decir, motor de imanes permanentes (aunque también valdrían de jaula de ardilla) y baterías de Li-Ión. No obstante, el proceso de recarga podría cambiar, pues se puede disponer de estaciones de recarga en el puerto y/o cargar las baterías con



Gandia

el MCIA (sistema en modo Engine Propulsion). Con lo que, el sistema híbrido podría ser enchufable o no enchufable.

4.2.1. Ventajas y desventajas

Los sistemas de propulsión híbridos presentan ventajas similares a los sistemas eléctricos. Sobre todo, las ventajas propias del sistema híbrido funcionando como complemento del térmico convencional. A continuación, se describen las ventajas.

- Reducción del consumo del combustible: pese a que se sigue consumiendo combustible, ya que las baterías se podrían recargar con energía de la red, los motores eléctricos quitarían carga a los motores térmicos convencionales y por tanto habrá una reducción del consumo.
- Reducción de los niveles de ruido durante la pesca y salida y entrada a puerto: sobre todo en pescas como el palangre, entre otros, en los momentos en los que el barco navega a bajas velocidades y no se necesita tanta potencia. Asimismo, la reducción de ruidos en puerto cerca de la poblaciones conllevaría una reducción de la contaminación acústica.
- Operación de los motores en el punto de mayor eficiencia: las baterías podrían asumir los picos de carga, permitiendo que el motor de combustión siga opere en su punto de máxima eficiencia.

Respecto a las desventajas, los sistemas híbridos presentan mayores costes de inversión comparado con sistema de propulsión con motor de combustión interna. En comparación con un sistema eléctrico puro, el coste podría ser mayor o menor dependiendo de la capacidad de almacenamiento y la decisión entre utilizar un motor de combustión nuevo o el antiguo.

4.2.2. Configuración en serie y en paralelo

En esta sección se va a explorar las dos configuraciones principales de los sistemas híbridos y se elegirá la que mejor se adapta al barco de estudio, que es un barco de pesca de artes menores. Según su configuración el sistema híbrido puede estar en serie o en paralelo.

Configuración en serie: en esta configuración la fuente de energía principal es un motor eléctrico alimentado por un conjunto de baterías, las cuales se cargan con un generador conectado a un MCIA a bordo. También se puede generar electricidad mediante otros recursos disponibles, como paneles solares, grupos electrógenos o cualquier combinación de ellos. La energía se almacena en las baterías a través de un controlador de carga. Cuando las baterías estén cargadas, el motor de combustión se apagará y el motor eléctrico propulsará la embarcación.

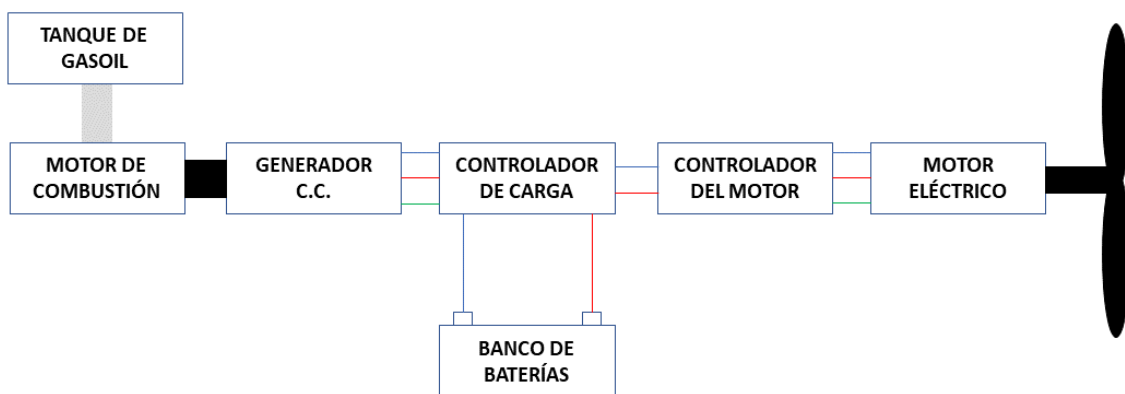


Imagen 27. Configuración en serie del sistema híbrido. Elaboración propia basada en (Proyectos Navales, 2021).

En esta configuración se apuesta totalmente por el propulsor eléctrico pues el motor térmico y el eje de transmisión no están conectados mecánicamente. Por lo que el motor eléctrico debe poder llegar a los niveles de potencia más altos requeridos por la embarcación. No obstante, también necesitan un generador potente para poder cargar las baterías rápidamente.

Configuración en paralelo: es una configuración más versátil, ya que permite múltiples opciones de operación, lo que permite al usuario cambiar fácilmente entre los modos de propulsión (ya sea con el MCI o con el ME). En esta configuración el motor de combustión y el eje de transmisión están conectados directamente, con el motor eléctrico trabajando en el mismo eje de transmisión. Es decir, el motor de combustión es el principal y se usa habitualmente cuando se quiera navegar a altas velocidades y/o cuando las baterías se agoten. Mientras que el motor eléctrico, que está acoplado al eje propulsor, se suele utilizar cuando se navegue a bajas velocidades o se quiere navegar sin ruido, aunque también ambos motores pueden funcionar en paralelo sumando sus potencias. El acople del motor eléctrico se puede hacer en la caja de cambio o en un cojinete de empuje externo.

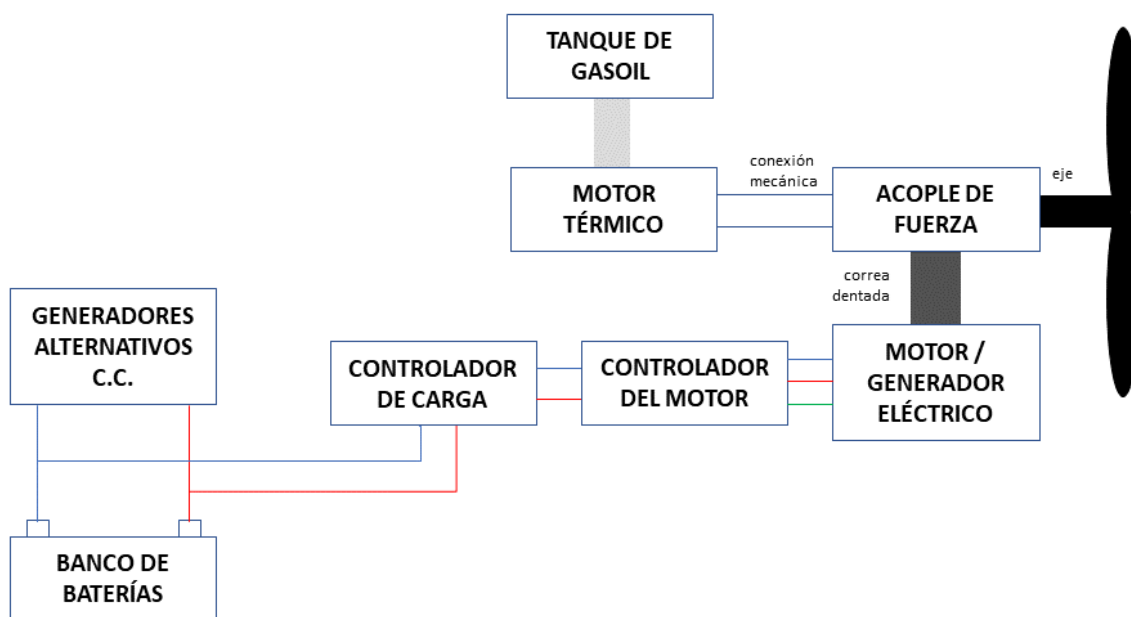


Imagen 28. Configuración en paralelo del sistema híbrido. Elaboración propia basada en (Proyectos Navales, 2021).



Gandía

Cuando el motor eléctrico está funcionando el motor térmico está desembragado. Mientras que cuando el motor de combustión está funcionando el motor eléctrico actúa como un alternador de cola, permitiendo generar electricidad y almacenarla en los bancos de baterías. Por tanto, la energía almacenada en las baterías puede provenir de un alternador del motor de combustión, de paneles solares, de puntos de recarga situados en el puerto de Gandía o de un grupo electrógeno independiente, entre otros.

La elección entre un sistema en serie o en paralelo radica en el uso que va a tener el barco y el diseño óptimo para ese uso. Si lo que se busca es un barco eléctrico con asistencia de un motor de combustión que trabaje en unos límites aceptables y que mantenga las baterías en carga constantemente entonces se necesitaría una configuración en serie. En cambio, si lo que se busca es un barco con todas las características que puede aportar un MCI, pero con menos emisiones y consumo reducido entonces se necesitaría una configuración en paralelo. Atendiendo a este criterio, **se plantea un sistema de propulsión híbrido en paralelo.**

4.2.3. Formas de uso del sistema híbrido

A continuación, se describen las diferentes maneras de funcionamiento del sistema híbrido en paralelo:

- Electric mode: solo entra en funcionamiento el motor eléctrico. Se programa el controlador para que el motor eléctrico entre por debajo de unas revoluciones determinadas. Se usa para navegar a bajas velocidades con cero emisiones y en silencio.
- Engine propulsion: entra en funcionamiento el motor térmico. En este modo el motor eléctrico puede estar apagado o funcionar como generador y cargar las baterías. Este modo se usa para velocidades de crucero, a velocidades elevadas.
- Booster Mode: entran en funcionamiento los dos motores. Se suman los pares de los dos motores al eje y por lo que la embarcación puede alcanzar velocidades más elevadas.

En la siguiente imagen se puede ver descritos los diferentes modos de funcionamiento del sistema híbrido.

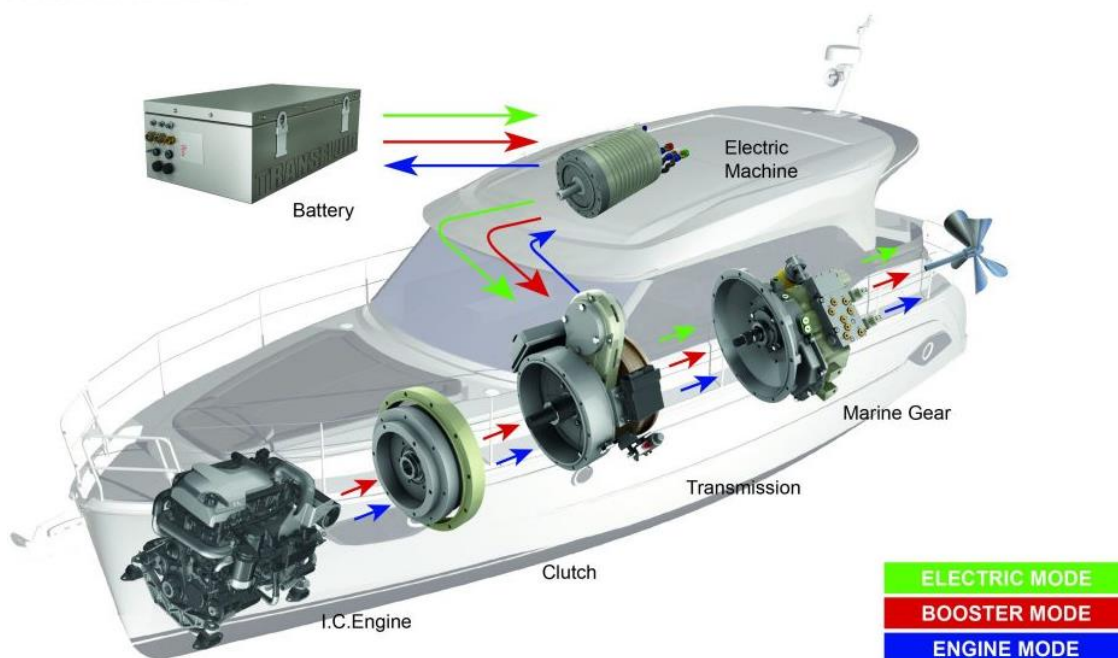


Imagen 29. Diferentes modos de funcionamiento del sistema híbrido. Fuente: (Bellmarine, 2021)

4.2.4. Escenario sistema híbrido

Como se ha mencionado, el sistema híbrido puede ser completamente nuevo o se puede aprovechar el MCIA actual.

En el caso de que el sistema de híbrido sea completamente nuevo, se podría elegir un MCIA más pequeño, de menor potencia, que se adapte mejor a los regímenes de trabajo. Pues como se ha mencionado anteriormente, el capitán del barco ha declarado que el motor actual está bastante sobredimensionado y consume alrededor de un 40% más que el resto de las embarcaciones de artes menores del puerto. Con ello, el sistema híbrido se adaptaría mejor y trabajaría con mejores rendimientos, por lo que los componentes se gastarían menos y se ahorraría en combustible y mantenimiento.

Por otra parte, en el caso de aprovechar el MCIA actual se tendría que adaptar el sistema mecánico para conectar en paralelo el motor eléctrico. Con ello, el sistema se adaptaría mejor a bajas velocidades, pues entraría en funcionamiento el motor eléctrico, pero a altas velocidades el motor seguiría estando sobredimensionado. No obstante, con esta opción, aprovechando el MCIA actual, se requeriría menos coste de inversión inicial.

En la siguiente tabla se resume las principales diferencias de cada opción.

Tabla 5. Principales diferencias de las opciones del sistema híbrido.

Sistema	Híbrido nuevo	Híbrido + MCIA actual
Coste inversión inicial	Mayor coste debido a que todo el sistema sería nuevo.	Menor coste pues se ahorra el coste del MCIA nuevo.



Gandia

Ahorros económicos	Mayor ahorro en emisiones, combustible y mantenimiento por sus mejores rendimientos de funcionamiento.	Menor ahorro en emisiones, combustible y mantenimiento pues el sistema sigue estando sobredimensionado a altas velocidades.
--------------------	--	---

En la siguiente imagen se muestra el esquema básico de un sistema híbrido paralelo.

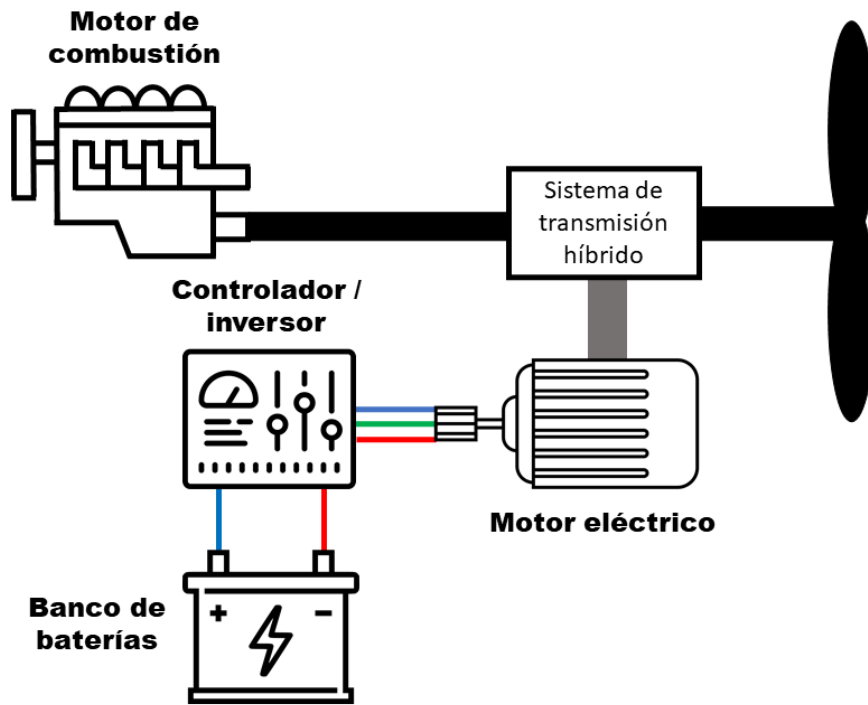


Imagen 30. Esquema básico de un sistema de propulsión híbrido en paralelo.

5. Dimensionado de los sistemas eléctrico e híbrido

En este apartado se presentan los resultados del diseño del sistema de propulsión en caso de ser completamente eléctrico e híbrido. A partir de ello, en las siguientes secciones se estudiará la posibilidad de que el sistema de propulsión sea completamente eléctrico o híbrido.

En los casos de los sistemas de propulsión diésel, las mayores pérdidas en el sistema son las termodinámicas y mecánicas en los motores, que resultan en pérdidas que rondan el 60% de la energía contenida en combustible antes de que se convierta en potencia de rotación a la salida del motor.

Por otro lado, también hay pérdidas de energía importantes en la caja reductora, los ejes y las hélices, lo que hacen que finalmente alrededor de una cuarta parte de la energía del combustible original se convierta en energía de empuje útil para avanzar el barco (F. Molland, 2011).

5.1. Sistema completamente eléctrico

Para el dimensionado el sistema de propulsión completamente eléctrico se aplica el balance de energías basado en el método de las fuerzas (Bejarano-Cáceres et al., 2020), el cual se describe en el Anexo B, al barco de estudio teniendo en cuenta los valores de la Tabla 3. Con ello se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6. Resultados de la simulación del barco de estudio.

Concepto	Valor
Potencia eléctrica media (kW)	9,09
Potencia eléctrica máxima requerida (kW)	55,53
Energía eléctrica efectiva necesaria (kWh)	81,77

A esta energía efectiva necesaria se le debe añadir la energía consumida por los aparatos de radiocomunicaciones y radionavegación, halador y otros aparatos adicionales que facilitan el hábitat en el barco. En la siguiente tabla se mencionan los aparatos registrados del barco y sus consumos, según sus fichas técnicas.

Tabla 7. Resumen de los aparatos del barco de estudio y consumos energéticos.

APARATO	POTENCIA (W)	TIEMPO DE USO
SONDA FORUNO FCV-627	17,94	9 h
SONDA FORUNO FCV-295	31,20	9 h
NAVTEX FORUNO NX-300 (NO- SOLAS)	1,70	9 h
RTF VHF (+LSD) FORUNO FM-8900S	25,00	9 h
RTF VHF PORT SOLAS ENTEL HT-649	0,30	9 h
RTF VHF (+LSD) NO-SOLAS STANDARD HORIZON GX-1100E	20,00	9 h
A.I.S. (NO-SOLAS) EM-TRAK B-100 AIS	2,40	9 h



Gandia

EQUIPO AIS SART MCMURDO KANNAD MARINE SAFELINK AIS SART	-	-
RBLS HOMBRE AL AGUA NO-SOLAS ACR MINIB 300 ILS H2ON (2 uds)	-	-
RBLS COSPAS-SARSAT KANNAD SAFELINK SPORTPRO+	-	-
RADAR NO-SOLAS KODEN MDC-1060	80,00	9 h
RECEP DE ALARMA HOMBRE AL AGUA RHOTHETA RT100	1,92	9 h
GPS NO-SOLAS MARINE MK II-T	6,00	9 h
GPS NO-SOLAS FORUNO GP-32	3,00	9 h
MICROONDAS PANASONIC	1.000,00	30 min
ORDENADOR CARTOGRAFIA TIMEZERO	180,00	9 h
MONITOR DE ORDENADOR LG (2 uds)	40,00 (x2)	9 h
PLOTTER SEIWA CMAP SEAWAVE MKIII	1,20	9 h
PILOTO AUTOMÁTICO SIMRAD	2,30	9 h
AIRE ACONDICIONADO PORTÁTIL EQUATION	900,00	2 h
VITROCERÁMICA DE INDUCCIÓN SEVERIN	2.000,00	1 h
VENTILADOR PEQUEÑO	20,00	4 h
TUBOS FLUORESCENTES (8 uds)	36,00 (x8)	5 h
BOMBA DE ACHIQUE	200,00	1 h
ENERGÍA TOTAL (kWh)	10,10	

Cabe resaltar que el halador y las maquinillas actuales son sistemas electrohidráulicos, que consumen energía térmica del motor diésel y lo transfieren al sistema hidráulico. No obstante, en un sistema completamente eléctrico el halador, maquinillas, y el servomotor serán dispositivos eléctricos. Por ello, se estima una potencia típica para dichos componentes, además del sistema de refrigeración del motor eléctrico.

Tabla 8. Consumo eléctrico estimado de dispositivos auxiliares.

APARATO	POTENCIA (W)	TIEMPO DE USO
BOMBA DE REFRIGERACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS	100,00	8 h
HALADOR ELECTRO-HIDRAÚLICO	2.000,00	4 h
SERVOMOTOR ELÉCTRICO	1.000,00	8 h
ENERGÍA TOTAL (kWh)	16,80	

En total, se estima un consumo energético de 108,67 kWh. No obstante, para dicha energía y de acuerdo con las potencias calculadas se deben tener en cuenta la eficiencia energética, la profundidad de descarga de las baterías y factores de seguridad ante imprevistos y condiciones de mar adversas.

La eficiencia energética de las baterías de AGM y GEL es del orden del 82%, mientras que para las de litio es del 90%.

Por otro lado, no se recomienda descargar las baterías hasta el 100% para disminuir su vida útil. Para baterías de AGM y GEL se recomiendan profundidades de descarga (DoD) de hasta el 70-80% si son del tipo OPzS y del 60% si son tradicionales.

abiertas. Mientras que para las de litio se recomiendan profundidades de descarga de hasta el 90% (Cueva et al., 2018).

También se deben tener en cuenta las situaciones de mar adversas que requieren un aumento de potencia del motor. Así que, a las potencias obtenidas en la Tabla 6 se le añaden los siguientes márgenes:

- Margen de mar del 15%, para poder afrontar condiciones adversas de marea y aumentos de resistencia al avance debido a las olas o ensuciamiento del casco.
- Margen del 10% para que el motor no trabaje a máxima potencia.

En cuanto al consumo energético se considerará un 25% de factor de seguridad para los días en los que por algún imprevisto se necesite estar más tiempo navegando o para cuando haya condiciones adversas.

Teniendo en cuenta los anteriores factores en la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados cuando se utiliza baterías de litio (para no tener DoD > 80%) y para el caso de usar baterías de AGM y/o GEL (DoD < 50%):

Tabla 9. Resultados del dimensionamiento del sistema de propulsión eléctrico.

Parámetro	Valor
Capacidad de almacenamiento requerida - baterías AGM (kWh)	329,31
Capacidad de almacenamiento requerida - baterías Litio (kWh)	188,67
Potencia media requerida en el motor eléctrico (kW)	11,94
Potencia máxima requerida en el motor eléctrico (kW)	69,41

Con todo ello, **se opta por las baterías de litio**. Se descartan las baterías de AGM pese a que son más baratas porque para la capacidad necesaria de 329 kWh, se estima un peso total de 8-9 tn, que es un peso excesivo teniendo en cuenta el peso del barco (11-11,5 tn). Por su parte, para la capacidad necesaria en baterías de litio de 189 kWh para un sistema completamente eléctrico, se estima un peso entre 2-3 tn, cuyo peso sigue siendo considerable pero que se compensa con la sustitución de los depósitos de combustible, motor térmico y caja de cambios que hay actualmente.

En la Imagen 31 se muestra la velocidad y la potencia efectiva necesaria a diferentes regímenes de operación durante la navegación de acuerdo con los datos de la Tabla 3. En un día en el que se realiza pesca tipo palangre los tramos de velocidad y jornada laboral son: ida al lugar de pesca (9 nudos), disposición de las líneas de palangre (5 nudos), tiempo de descanso y espera, recogida de la pesca (1,5 nudos) y vuelta del lugar de pesca (9 nudos).



Gandia

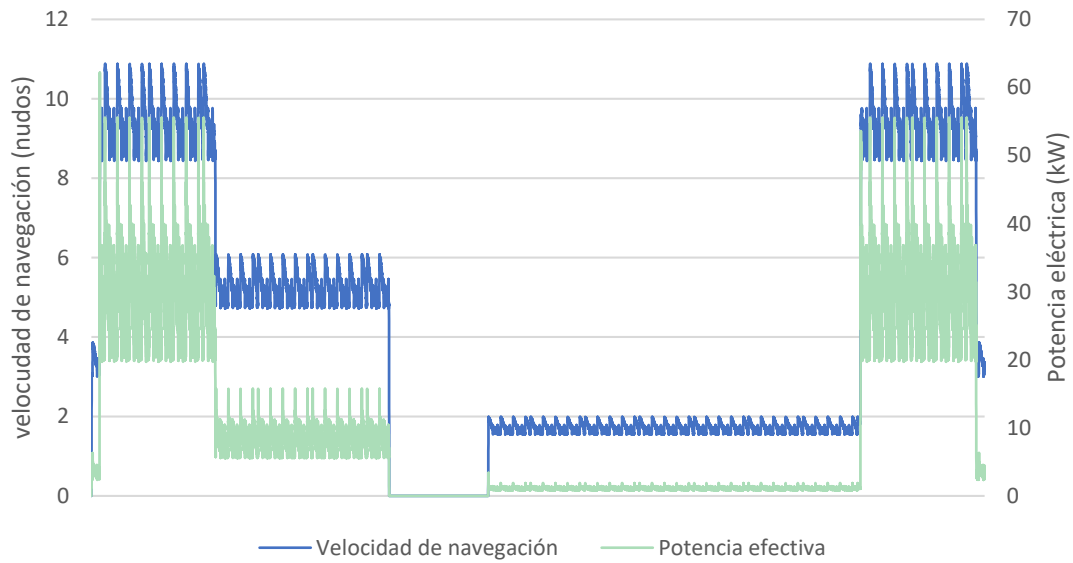


Imagen 31. Resultados de la simulación del barco de estudio.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados por cada tramo. Esto resulta útil si se quiere disponer de un sistema híbrido para los momentos de menor velocidad, en los que el motor térmico funciona a rendimientos bajos.

Tabla 10. Resultados de la simulación por tramos del barco de estudio.

Variable	Ida	Descarga del palangre	Recogida de la pesca	Vuelta
Velocidad media (nudos)	9,36	5,25	1,72	9,36
Potencia efectiva máxima (kW)	55,53	15,72	12,06	55,53
Potencia efectiva media (kW)	27,44	7,57	1,04	27,48
Energía efectiva necesaria (kWh)	32,00	13,24	3,90	32,07

El sistema de almacenamiento trabajará a la tensión de diseño del motor elegido. Como se verá más adelante, el motor propuesto para este escenario es el DraftMaster 45W, que trabaja con un conjunto de baterías a 288 V. Si es necesario más de una bancada de baterías se conectarán en paralelo entre sí (a la misma tensión de trabajo). Por su parte, cada bancada estará compuesta por un conjunto de baterías conectadas en serie para alcanzar los 288 V. Por ejemplo, dentro de cada bancada a 288 V podrá estar compuesto de dos conjuntos de baterías de 144 V conectadas en serie, o tres conjuntos de baterías de 96 V en serie.

5.2. Sistema híbrido

Como se ha mencionado anteriormente, en la configuración en paralelo el motor de combustión funciona como motor principal y se usa para cuando se quiere navegar a elevadas velocidades y/o se han descargado las baterías. Mientras que el motor eléctrico se usa cuando se quiere navegar a bajas velocidades (en los que el motor térmico no funciona de forma óptima) y/o en los momentos en los que se quiere navegar en silencio.



Gandia

Por ello, estimando los consumos de los equipamientos para los periodos de bajas velocidades en los que se usará el motor eléctrico, cuando se sale y entra del puerto a 3 nudos y cuando se recoge el palangre a 1,5 nudos, y teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 10. Se estima que en estos periodos se consuma alrededor de 20,53 kWh, con lo que serán necesarios una capacidad total de 35,64 kWh de baterías litio.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas que se necesita del sistema híbrido.

Tabla 11. Resultados del dimensionamiento del sistema híbrido.

Parámetro	Valor
Capacidad de baterías Litio (kWh)	36,00
Potencia eléctrica media (kW)	1,30
Potencia eléctrica máxima (kW)	15,08



Gandia

6. Soluciones adoptadas para cada escenario

En esta sección se describen las propuestas de un sistema de propulsión completamente eléctrico e híbrido para el barco de estudio. Consultando a los fabricantes e instaladores se estima el coste de cada propuesta y se propone el escenario que mejor se adapta al caso de estudio.

6.1. Propuesta del sistema de propulsión eléctrico

Para la propuesta del sistema de propulsión completamente eléctrico se consulta las diferentes modelos disponibles en el mercado. Entre ellos, destacan los motores ShaftMaster del fabricante Transfluid, los cuales cuentan con más de 60 años de experiencia. El modelo elegido es un motor es de imanes permanentes, con refrigeración por agua y régimen nominal de 3.000 rpm.

Dado que de potencia media en los tramos de velocidades altas (ida y vuelta a 9 nudos) se necesitan de media una potencia de 27 kW (Tabla 10), se opta por el modelo ShaftMaster 45W, cuya potencia nominal es de 35 kW y potencia máxima de 45 kW.



Imagen 32. Motor ShaftMaster del fabricante Transfluid.

Según las especificaciones técnicas del motor, el banco de baterías ha de estar a 288 V. Para ello, habría que instalar dos bancadas de baterías, una situada a cada lado para repartir el peso equitativamente y favorecer la estabilidad.

En la siguiente imagen se muestra el esquema que tendría el sistema eléctrico propuesto. Como se puede ver, el controlador transforma la energía de continua a alterna pues el motor es trifásico, a la vez que recoge datos del motor eléctrico, acelerador, etc. para dar las ordenes correspondientes para que el sistema funcione correctamente.

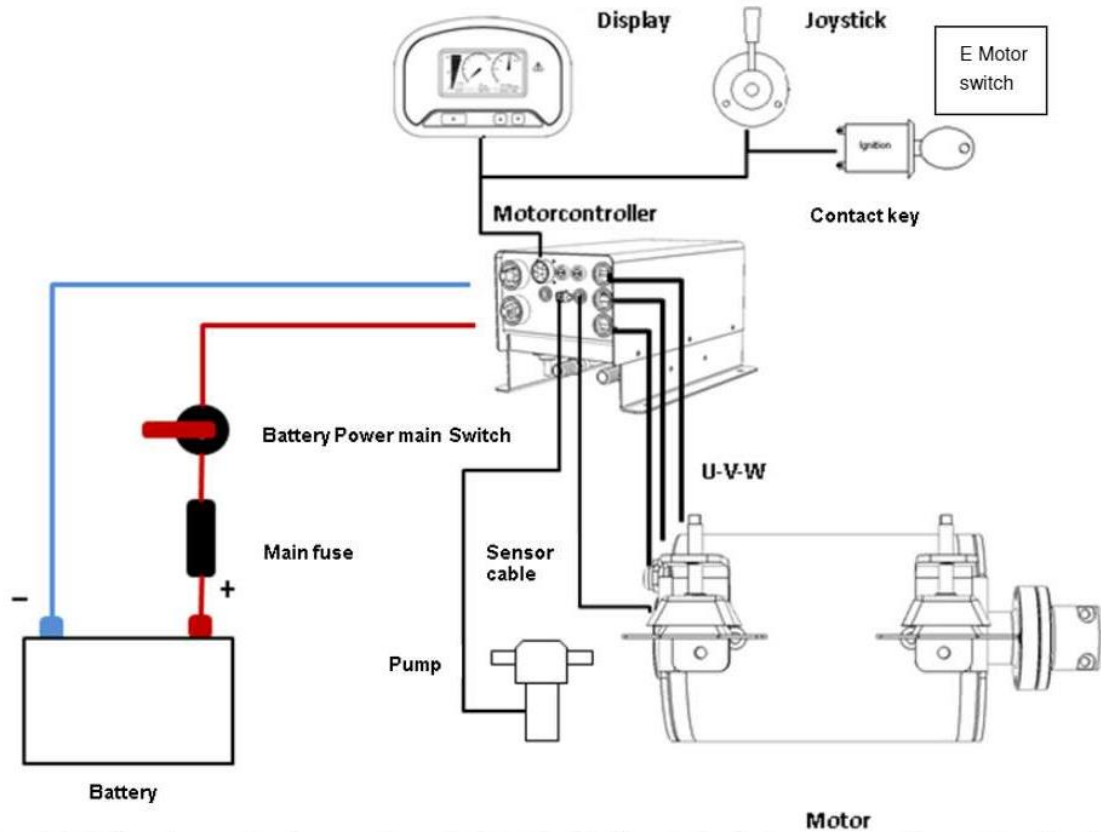


Imagen 33. Esquema del sistema eléctrico del sistema de propulsión. Fuente: (Bellmarine, 2013)

Consultando a la empresa Bellmarine se estima un coste, llave en mano, de Shaftmaster 45W + Bateria 172kWh (288V) + Accesorios de 178.000€ PVPR + IVA. A lo que se le debe sumar el coste de instalación y legalización del sistema eléctrico, el cual consultando a la empresa Minguez S.A. ha estimado en 20.000€ + IVA.

Por otro lado, respecto al proceso de carga, se ha consultado a un instalador oficial el coste total de la instalación de un punto de recarga de 22 kW con dos tomas, el cual manifestó que el coste llave en mano puede ser de 13.000€ + IVA, en el que va incluido el suministro de material, instalación y legalización. En caso de que no haya punto de conexión a red el coste no se puede saber, depende de la distribuidora desde donde hay que hacer la conexión. Aunque esto no ocurre en el puerto de Gandía que cuenta con conexión a red gestionada por la Autoridad Portuaria de Valencia.

Se ha consultado la posibilidad de tener menos capacidad de baterías (36 kWh) y tener un generador (36 kW), para lo cual se ha estimado un precio de 130.000 € + IVA. Con ello se consigue un menor precio, pero el generador requiere mayor mantenimiento por los ciclos de arranque/parada que se dan a lo largo de la jornada laboral.

Como se verá en la sección 6.3, el escenario de sistema completamente eléctrico compuesto con solo baterías es el que mejor TIR tiene. Por lo que este escenario será evaluado más en detalle en el Análisis económico.



Gandia

6.2. Propuesta del sistema de propulsión híbrido

Como se ha mencionado anteriormente, una opción para el sistema híbrido sería comprar un motor de combustión nuevo, con una menor potencia para que no esté sobredimensionado como el motor actual, y conectarle un motor eléctrico en paralelo. La otra opción es aprovechar el motor diésel actual e instalar un motor eléctrico auxiliar en paralelo. Es una opción menos eficiente porque el motor actual está bastante sobredimensionado, pero se consigue ahorrar el coste del motor diésel. El cambio de motores diésel viejo por uno nuevo suele costar alrededor de 30.000 € y 5.000€ la instalación en total, según la experiencia del capitán del barco de estudio.



Imagen 34. Sistema híbrido HM450 del fabricante Transfluid.

Para esta opción se ha consultado a los fabricantes (Bellmarine, Fischer Panda, etc.) entre los que destaca el modelo de transmisión híbrida HM450 del fabricante Transfluid. La transmisión cuenta con un motor síncrono de imanes permanentes de 8 kW de potencia nominal cuando funciona en modo motor, de 7 kW cuando funciona en modo generador. Gira a 3000 rpm y se debe conectar a un banco de baterías de 96 V_{DC}.

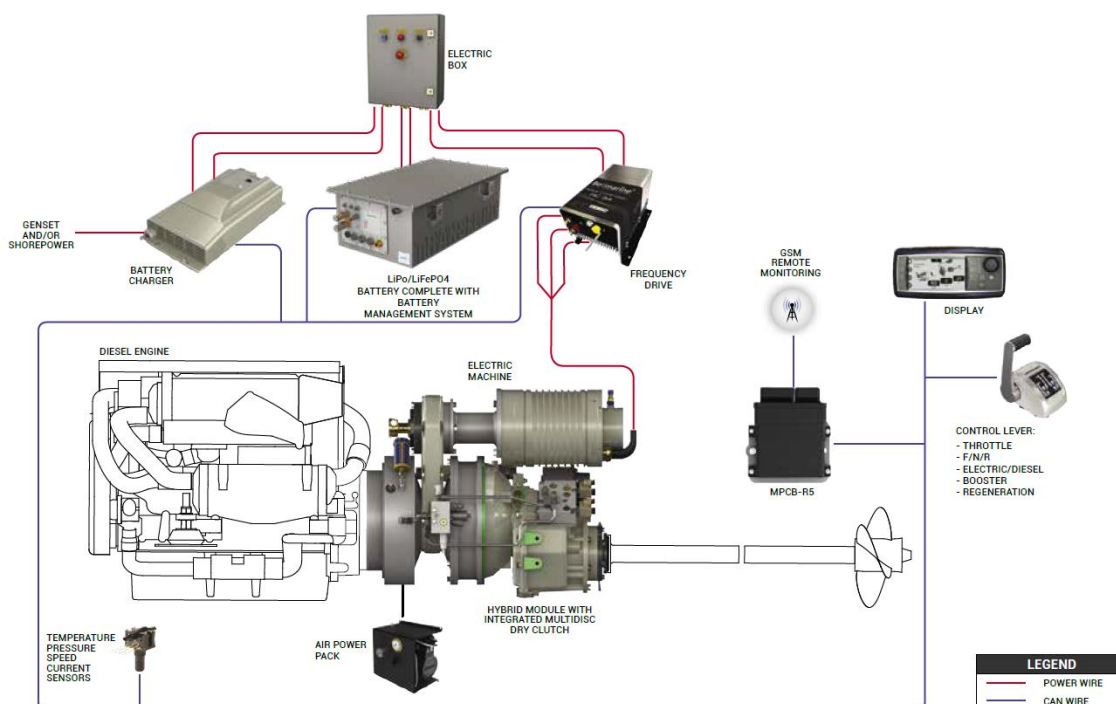


Imagen 35. Esquema del sistema híbrido del sistema de propulsión. Fuente: (Transfluid, 2021)

Según las especificaciones técnicas del motor, el banco de baterías ha de estar a 96 V. Para ello, habría que instalar dos bancadas de baterías (de 18 kWh cada una), cada una situada a un lado del barco para repartir el peso equitativamente y favorecer la estabilidad. El sistema de propulsión tendría el esquema de la Imagen 35. Con ello, se estima un coste llave en mano de Motor diésel nuevo 100 kW + HM450 + Bateria 38,2 kWh (96V) + Accesorios de 190.000€ PVPR + IVA.

Por otro lado, se estima un coste llave en mano de DriveMaster 20W EVO + Bateria 41 kWh (48V) + Accesorios de 96.891,32€ PVPR + IVA. Para el coste de instalación, y revisando el sistema actual estimó que sería necesario dos días para toda la instalación y costaría alrededor de 20.000€. A continuación, se detalla el presupuesto del sistema híbrido propuesto:

Tabla 12. Presupuesto del sistema de propulsión híbrido propuesto.

Concepto	Detalles	Cantidad (uds)	Coste (€/uds)	Total (€)
Sistema DriveMaster 20W EVO	Incluye: • Motor eléctrico 20 kW 1.500 rpm • Controlador del motor • Puesto de control en cabina + monitor • Acelerador • Longitud del cable del motor 5 m. • Sistema de refrigeración por agua de mar • Sistema de embrague híbrido	1	60.000,00	60.000,00
Baterías de 41 kWh	Incluye: • Baterías de Li-Ión	2	16.515,52	33.031,03



Gandia

	•Cableado de baterías			
Cargador de batería	Incluye: • Inversor/cargador Victron Quattro 8000VA 48V 110+100A •Protecciones •Cableado de red a cargador	1	3.860,29	3.860,29
Instalación	Incluye: •Mano de obra •Legalización	1	20.000,00	20.000,00
Importe PVP				116.891,32
Importe Total (IVA incl.)				141.438,50

6.3. Resumen de los sistemas de propulsión y elección recomendada

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los escenarios planteados, así como el VAN ($I=2\%$, $IPC=2\%$) y el TIR estimado. Cabe resaltar, que en la sección 7 se analiza más en detalle los escenarios de sistema completamente eléctrico con baterías e hibridación del motor actual desde el punto de vista económico del proyecto, los cuales presentan el mejor TIR y VAN respectivamente.

Tabla 13. Resumen de las diferentes alternativas del sistema de propulsión.

Tipo	Sistema	Características	Precio (€) (+ IVA)	VAN (€) TIR (%)
Motor principal eléctrico	ME + baterías litio	$P_{ME\ Nom}: 35\ kW$ $C_{bat\ litio}: 172\ kWh$	178.000,00€	-184.791,25€ -8,62 %
Motor principal eléctrico	ME + baterías litio + generador	$P_{ME\ Nom}: 35\ kW$ $C_{bat\ litio}: 36\ kWh$ $P_{Generador}: 36\ kW$	130.000,00€	-165.831,03€ -12,11 %
Motor principal térmico	MH nuevo + baterías litio	$P_{MCIA\ Nom}: 129\ kW$ $P_{ME}: 8\ kW$ $C_{bat\ litio}: 38,2\ kWh$	190.000,00€	-231.656,82€ -12,09%
Motor principal térmico	ME nuevo + MCIA actual + baterías litio	$P_{MCIA\ Nom}: 129\ kW$ $P_{ME}: 20\ kW$ $C_{bat\ litio}: 41\ kWh$	97.000,00€	-131.725,06€ -12,82%

En cuanto al TIR destaca el sistema completamente eléctrico con sistema de almacenamiento con todo baterías pues tiene el menor tiempo de retorno. Ello se debe a que los motores eléctricos son mucho más eficientes que la de combustión, por lo que se ahorra más. Entre los sistemas híbridos destaca el escenario del sistema híbrido completamente nuevo que tiene un mejor TIR, pues el motor funciona más eficientemente y se ahorra más. No obstante, en cuanto al VAN destaca la hibridación del motor actual pues supone un menor coste de inversión.

No obstante, a la hora de seleccionar una de las propuestas del sistema del sistema de propulsión para la transición energética de las embarcaciones el coste de la



Gandia

inversión inicial juega un papel importante pues los trabajadores que harán uso de ella no tienen un poder adquisitivo elevado. Respecto a esto, se elegiría la hibridación del barco aprovechando el MCIA actual.

En la Sección 7 de Análisis económico se compara el escenario del sistema de propulsión completamente eléctrico con baterías y el escenario de hibridación del motor actual. Los resultados indican que la opción de sistema de propulsión completamente eléctrico con baterías resulta menos viable económicamente, peor VAN, que la opción de hibridación del motor actual.

Teniendo en cuenta ello, y que la inversión inicial para el sistema híbrido es menor, **se opta por el sistema de propulsión híbrido aprovechando el motor diésel actual.**

6.4. Descripción del sistema de propulsión elegido

El sistema híbrido que aprovecha el motor actual es ideal para navegar o maniobrar especialmente a bajas velocidades, cuando está instalado el motor principal de un barco tradicional.

El motor de accionamiento se monta en paralelo al eje existente. Es posible que se requiera modificar del eje para sujetar la polea/correa de transmisión. El banco de baterías se puede cargar conectándose con un punto de recarga en el puerto y también presionando el botón REGEN, el banco de baterías se puede recargar cuando el motor principal está funcionando.

Funciona a 48 V_{DC}, con lo que se garantiza la máxima seguridad de los tripulantes, ya que se reduce mucho el peligro de electrocución.

El sistema puede funcionar únicamente con el motor de combustión y usar parte de la energía para cargar las baterías, optimizando el rendimiento del motor diésel. También puede funcionar solamente con el motor eléctrico con la energía almacenada en las baterías. Cuando las baterías se descargan por debajo de un porcentaje el motor de combustión se enciende y, o bien pueden funcionar los dos motores sumando las potencias o bien el motor eléctrico se apaga y solo funciona el motor de combustión.

6.5. Recomendaciones de uso

Del sistema híbrido, las baterías son uno de los componentes más caros y con menor vida útil, representan el 28% del coste de la inversión inicial. A medida que se van usando su capacidad de almacenamiento se va reduciendo, por lo que es necesario renovarlas. Por ello es muy importante utilizarlas adecuadamente según las recomendaciones de los fabricantes utilizando adecuadamente las diferentes formas de uso, y de esta forma alargar vida útil larga y con ello ahorrar dinero.

Uno de los aspectos más importantes para conservar las baterías son la manera en que se carga, pues un proceso de carga excesivamente rápido puede dañar las propiedades del material de fabricación de las baterías (Keyser et al., 2017). Para ello, el controlador de carga se encargará que durante el proceso para evitar problemas de sobrecorriente, sobretensiones y sobrecarga.



Gandia

El otro aspecto importante de las baterías es el proceso de descarga de las baterías, pues el porcentaje que se descargue la batería (DoD) cada vez que se use influye en el desgaste de esta y del deterioro de las propiedades de almacenamiento de los materiales que lo componen (Drouilhet & Johnson, 1997). A mayor porcentaje de descarga (DoD) provocará más desprendimientos al fondo de la batería de materia activa por estrés mecánico, lo que puede debilitar su eficiencia de carga y descarga de forma significativa. No es recomendable descargar las baterías a más del 90% de su capacidad, aunque se puede descargar hasta el 100%. En la siguiente gráfica se muestra la influencia típica del DoD en los ciclos de vida útil de las baterías de litio (Trojan, 2021).

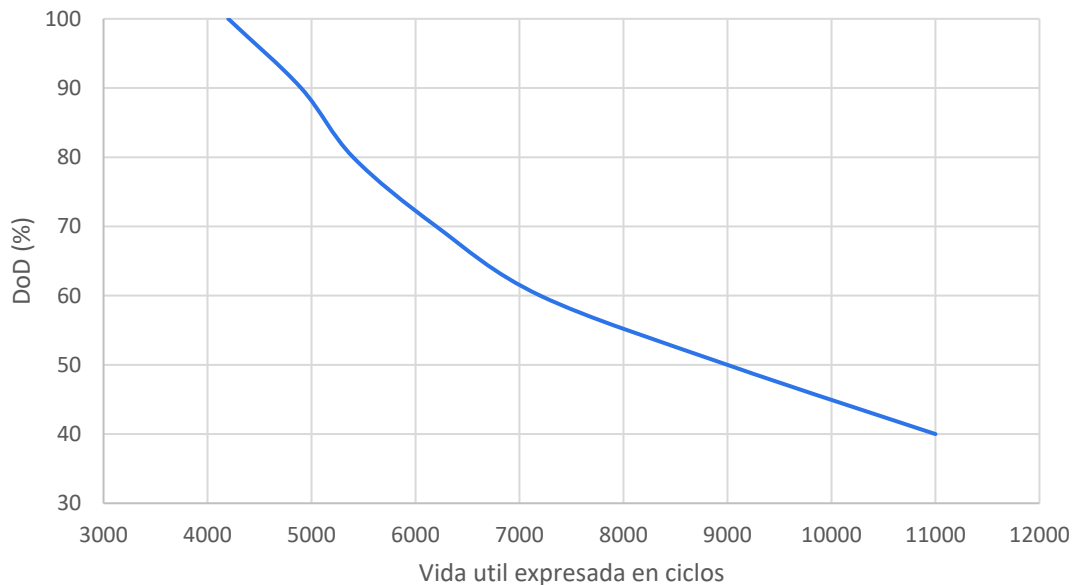


Imagen 36. Influencia del DoD sobre los ciclos de vida útil de las baterías Litio.

Por otra parte, dependiendo de cómo se haga uso de la embarcación (velocidad de navegación, horas navegación, utilización de las formas de uso del sistema híbrido) se exigirá más o menos al motor y este demandará más energía de las baterías.

Es decir, a mayor velocidad de navegación más potencia tendrá que dar el motor eléctrico y más rápido se descargarán las baterías. La influencia de la velocidad en la potencia del motor es cuadrática, según la metodología utilizada (Bejarano-Cáceres et al., 2020), por lo que la descarga de las baterías dependerá considerablemente de la velocidad de navegación. Lo ideal para la descarga de las baterías es que la embarcación mantenga constante la velocidad de navegación, y que se eviten picos de potencia/velocidad. Por eso, como se ha comentado, se recomienda la navegación con modo eléctrico para velocidades bajas. Mientras que para velocidades elevadas se recomienda usar el modo térmico.

Por último, a mayor uso más se descargarán las baterías. Dado que la embarcación se diseña para un uso de alrededor de 4 horas en modo eléctrico para velocidades de navegación diferentes (10 min a 3 nudos y 3h y 45 min a 1,5 nudos), con un 25% de coeficiente de seguridad, se recomienda que no se superen las 4 horas de uso, aunque también se dispone del motor térmico se pueden cargar si fuera necesario, para no tener DoDs mayores del 90% y así como mínimo las baterías durarán lo previsto, unos 4000 ciclos de carga/descarga, según la ficha técnica de la batería. Sin embargo, como se entiende que no todos los días se utilizará la embarcación



Gandia

en las condiciones de diseño más desfavorables pues a lo largo del año se realizan diferentes tipos de pesca, se entiende que la vida útil de las mismas podrá ser superior a los 4000 ciclos.

Por otra parte, parámetros como el porcentaje de carga de las baterías y las horas aproximadas de funcionamiento restantes se verán reflejados en el monitor del sistema para que el capitán del barco lo tenga en cuenta.

Con todo ello, en la siguiente tabla se resumen las recomendaciones de uso de la embarcación:

Tabla 14. Recomendaciones de uso de la embarcación híbrida propuesta.

RECOMENDACIONES DE USO DE LA EMBARCACIÓN HÍBRIDA

1. Usar el modo eléctrico a bajas velocidades.
2. No descargar las baterías más del 90% (para baterías de litio).
3. Mantener una velocidad de navegación lo más constante posible evitando picos de potencia y velocidad.
4. No superar las 4 horas de uso para las que el modo eléctrico está diseñado.



Gandia

7. Análisis económico

Esta sección presenta el análisis de viabilidad económica para saber los costes y beneficios desde una perspectiva económica a la hora de llevar a cabo el proyecto. El proceso que habitualmente se sigue consiste en el análisis de los costes y ahorros para el cálculo de una serie de indicadores económicos. Indicadores como el tiempo de retorno (“Payback”), el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rentabilidad (TIR) y el flujo de caja, con los que se pretende obtener resultados del proyecto.

Por tanto, en este apartado se van a describir la estructura de costes, el proceso de cálculo de la viabilidad económica y los resultados de los principales indicadores económicos de ambas propuestas del sistema de propulsión.

7.1. Estructura de costes

Anteriormente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**sección 6.1 se ha mostrado un presupuesto estimado del sistema completamente eléctrico propuesto. En la siguiente tabla se desglosan los costes en los diferentes sistemas descritos de la embarcación.

Tabla 15. Presupuesto de la embarcación por bloques del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

Sistema	Detalles	Coste (€)
Sistema de almacenamiento	Incluye: <ul style="list-style-type: none">– Baterías– Monitores de baterías– Cableado de baterías	107.000,00
Sistema mecánico y control	Incluye: <ul style="list-style-type: none">– Motor eléctrico– Controlador/ convertidor/ inversor– Acelerador– Monitor de sistema– Barra de distribución	58.000,00
Sistema de recarga	Incluye: <ul style="list-style-type: none">– Suministro poste de recarga– Proyecto, instalación y legalización	13.000,00
Instalación	Mano de obra	20.000,00
	Importe total (PVP)	198.000,00
	Importe total (IVA Incl.)	239.580,00

A modo ilustrativo en el siguiente diagrama se muestra el porcentaje que representan cada sistema respecto al coste total. Cabe destacar que los costes principales corresponden al sistema mecánico y control y almacenamiento, que en conjunto también representan un 83% del total.

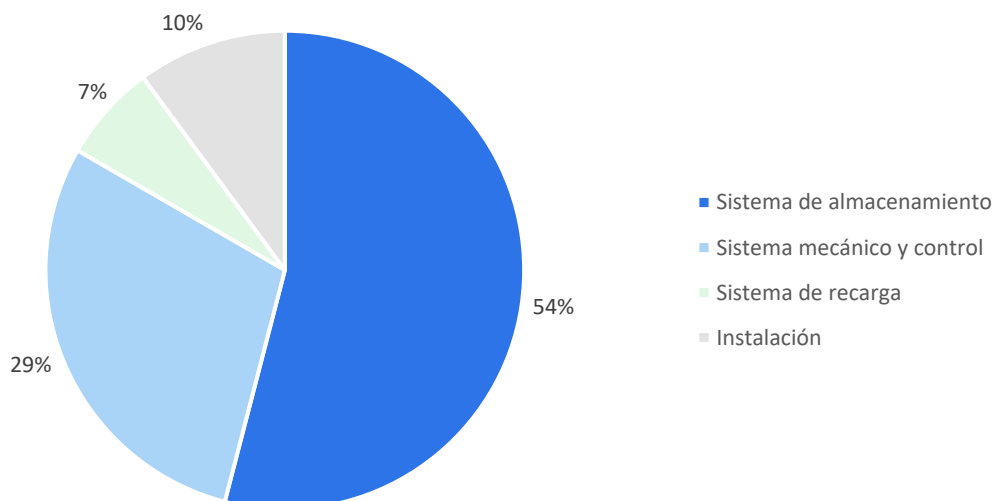


Imagen 37. Representación del coste de cada bloque del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

De igual manera, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ha mostrado el presupuesto del sistema de propulsión híbrido propuesto. En la siguiente tabla se desglosan los costes en los diferentes sistemas descritos de la embarcación.

Tabla 16. Presupuesto de la embarcación por bloques del sistema de propulsión híbrido propuesto.

Sistema	Detalles	Coste (€)
Sistema de almacenamiento	Incluye: – Baterías 41 kWh – Cableado de baterías	33.031,03
Sistema mecánico y control	Incluye: – Motor eléctrico – Controlador del sistema – Acelerador – Monitor de sistema – Sistema de acoplamiento híbrido	60.000,00
Sistema de recarga	Incluye: – 1 cargador – Cableado – Protecciones	3.860,29
Instalación	Mano de obra	20.000,00
Importe Total (PVP)		115.891,32
Importe Total (IVA Incl.)		140.228,50

A modo representativo en el siguiente diagrama se muestra el porcentaje que representan cada sistema respecto al coste total. Los costes principales corresponden al sistema mecánico y control y almacenamiento, que en este caso representan un 80% del total.

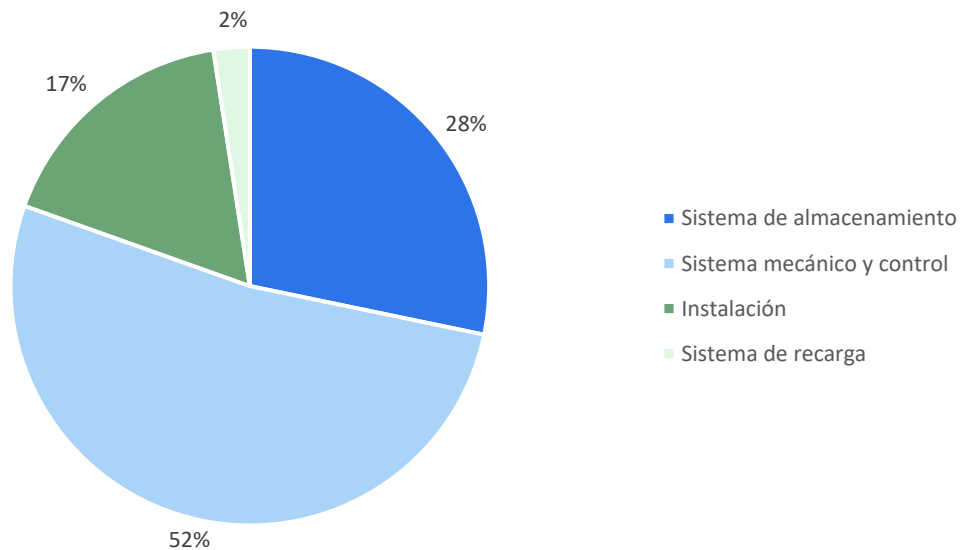


Imagen 38. Representación del coste de cada bloque del sistema de propulsión híbrido propuesto.

7.2. Análisis de los costes de operación

En este apartado se explicarán los costes de operación que repercuten en el ahorro y los resultados del análisis de viabilidad económica. Costes tales como el coste de la renovación periódica de las baterías, los costes en mantenimiento, los costes en consumo de gasoil y consumo de electricidad, entre otros. Los cuales se describen a continuación.

7.2.1. Renovación de las baterías

Teniendo en cuenta los días de mal temporal y considerando que no se trabajan los fines de semana se estima que anualmente se trabajen de 260 días, con una actividad laboral parecida a la descrita en los apartados anteriores.

El sistema de almacenamiento de la propuesta eléctrica se ha diseñado para 9 horas de funcionamiento con el tipo de trabajo descrito en las secciones anteriores, con una capacidad final de 189 kWh. Por su parte, el sistema de almacenamiento de la propuesta híbrida se ha diseñado para 4 horas de funcionamiento (10 min a 3 nudos y 3 h y 45 min a 1,5 nudos), con una capacidad final de 41 kWh.

No obstante, como se ha mencionado previamente, se han aplicado parámetros de seguridad y de funcionamiento de las baterías, por lo que se prevé que al final las baterías se descarguen como mucho hasta el 60% en ambos casos. Para un 60% de descarga se prevé una vida útil de alrededor de 6500 ciclos de carga/descarga, a partir de los cuales según el fabricante la capacidad de almacenamiento de las baterías está por debajo del 70% de la capacidad inicial. Teniendo en cuenta ello se prevé necesario renovaciones de las baterías cada 25 años, por lo que **en ambos casos en toda la vida útil del sistema de propulsión (20 años) no se necesitan cambiar las baterías.**

7.2.2. Mantenimiento

El mantenimiento es el gasto en reparaciones de piezas del motor y sistema de propulsión. Para el gasto en mantenimiento de los motores actuales se ha preguntado a los trabajadores, los cuales han manifestado que de media se gastan alrededor de media 1.000€ al año en costes relacionados con el mantenimiento, llegando a los 2.000€ o más dependiendo de las revisiones y necesidades de recambio o reparación de las diferentes piezas.

Para el gasto en mantenimiento del sistema de propulsión eléctrico se tiene en cuenta que los costes de mantenimiento habituales de los vehículos eléctricos son alrededor del 50% del gasto en mantenimiento en comparación con los vehículos de combustión, teniendo en cuenta que se aprovechará para hacer mantenimiento del resto de embarcaciones eléctricas que se irán construyendo (U.S. Department of energy, 2021). Por ello, se considera un coste de mantenimiento de 500 € al año. Con lo que **para el sistema de propulsión eléctrico supone un ahorro de 500 € anuales en mantenimiento.**

Por su parte, el gasto en mantenimiento del sistema híbrido es mayor que con el sistema íntegramente eléctrico porque se dispone de las dos tecnologías, pero igual o menor que el del sistema de propulsión tradicional de combustión porque trabaja con rendimientos más altos por lo que las piezas se desgastan menos. De esta manera, siendo conservadores se estima que los costes de mantenimiento del sistema híbrido propuesto representan son los mismos respecto al motor de combustión actual. Con lo que **para el sistema de propulsión híbrido propuesto se estima no se ahorra en mantenimiento.**

7.2.3. Renovación del motor térmico

Es el gasto asociado a las renovaciones de los motores térmicos actuales. Se consultaron con los propietarios de diferentes embarcaciones que comunicaron que los motores actuales pueden aguantar bastante más de 20 años sin necesidad de cambiarlos por otros nuevos. Por lo que, **no se consideran en ahorros los gastos en renovaciones de motor térmicos actuales** durante los 20 años de vida útil del sistema de propulsión.

7.2.4. Ahorro en el consumo energético

Es el gasto asociado al consumo de diésel y electricidad. Respecto al consumo en gasoil de la embarcación se considera de 70 litros cada uno de los 260 días al año. Consultando el precio histórico, se considera el precio del gasoil alrededor de 0,55 €/litro⁶, y para facilitar los cálculos y siendo conservadores se considera constante en los 20 años de vida útil. Previsiblemente el coste de gasoil, así como el de otros combustibles, irá aumentando con el tiempo.

⁶ Actualmente a octubre de 2021 los precios son más elevados, con lo que los análisis financieros saldrían más favorables. Aún así, se ha considerado el análisis de forma conservadora con los resultados históricos.



Gandia

Respecto al consumo de la electricidad, se estima un consumo de 108,67 kWh en las 9 horas de funcionamiento previstas para el escenario de sistema de propulsión completamente eléctrico. Teniendo en cuenta la variación histórica del precio del kWh eléctrico en tarifa PVPC, se considera un coste conservador de 0,116 €/kWh⁷ en periodo valle, ya que se cargarán por la noche, constante a lo largo de los 20 años de vida útil del sistema.

Respecto a los ahorros en emisiones de CO₂ equivalente se tiene en cuenta el factor de emisión del gasoil es de 2,493 kg CO₂/l⁸, mientras que el factor de emisión de la energía eléctrica en España es 1,910⁻⁴ t CO₂/kWh⁹.

Con todo ello, en la siguiente tabla se muestran los ahorros del sistema de propulsión eléctrico. Anualmente se ahorran 6.605,54 €.

Tabla 17. Ahorro económico y en emisiones del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

Mes	Nº de días de uso	Ahorro emisiones (tCO ₂)	Ahorro económico (€)
En-	22	3,31	558,93
Feb-	20	3,01	508,12
Mar-	22	3,31	558,93
Ab-	21	3,16	533,52
Ma-	22	3,31	558,93
Jun-	22	3,31	558,93
Jul-	22	3,31	558,93
Ag-	22	3,31	558,93
Sep-	22	3,31	558,93
Oct-	22	3,31	558,93
Nov-	21	3,16	533,52
Dic-	22	3,31	558,93
TOTAL	260	39,12	6.605,54

Respecto al consumo de combustible con el sistema híbrido, se estima un consumo de 47,5 litros, respecto a los 70 litros actuales, y un consumo en energía eléctrica de 20,53 kWh. Con ello, en la siguiente tabla se muestran los ahorros del sistema de propulsión híbrido propuesto. Anualmente se estima un ahorro en combustible 2.529,55€.

Tabla 18. Ahorro económico y en emisiones del sistema de propulsión híbrido propuesto.

Mes	Nº de días de uso	Ahorro emisiones (tCO ₂)	Ahorro económico (€)
En-	22	1,12	214,04

⁷ Precio conservador medio de la electricidad en tarifas PVPC en las horas valle. <https://www.esios.ree.es/es/pvpc?date=18-06-2021>

⁸ Factor de emisión medio anual del gasóleo. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-479095.pdf

⁹ Factor de emisión medio anual de los últimos 5 años del mix energético español. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>



Feb-	20	1,02	194,58
Mar-	22	1,12	214,04
Ab-	21	1,07	204,31
Ma-	22	1,12	214,04
Jun-	22	1,12	214,04
Jul-	22	1,12	214,04
Ag-	22	1,12	214,04
Sep-	22	1,12	214,04
Oct-	22	1,12	214,04
Nov-	21	1,07	204,31
Dic-	22	1,12	214,04
TOTAL	260,00	13,24	2.529,55

En las siguientes tablas se muestran un resumen de los gastos, ahorros e inversión inicial para el sistema de propulsión propuesto con y sin PV:

Tabla 19. Gastos, ahorros e inversión inicial del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

Concepto	Periodicidad	Cantidad (€)
Inversión inicial	Únicamente en el año 0	-239.580,00
Ahorro por consumo	Anual	6.605,54
Ahorro por mantenimiento	Anual	500,00

Tabla 20. Gastos, ahorros e inversión inicial del sistema de propulsión híbrido propuesto.

Concepto	Periodicidad	Cantidad (€)
Inversión inicial	Únicamente en el año 0	-141.438,50
Ahorro por consumo	Anual	2.529,55
Ahorro por mantenimiento	Anual	0,00

7.3. Principales indicadores económicos

Los principales indicadores (Ossandón, 1994) que se van a calcular son el PAYBACK, el VAN, TIR y el flujo de caja para el sistema de propulsión propuesto con y sin PV.

Una forma de evaluar la viabilidad económica es mediante un flujo de caja, que consiste en ver cada año cuanto se está gastando y cuanto se está ahorrando, de manera que se pueda ver a lo largo de los años si se llega a recuperar la inversión. Con el flujo de caja se puede evaluar el PAYBACK, que establece el tiempo en el que se recupera la inversión inicial. Descrito de otra manera, es el tiempo donde los rendimientos acumulados se igualan al valor de la inversión. Cuanto menor es el PAYBACK más interesante es la inversión.

El VAN consiste en calcular los valores actuales de todos los costes de capital y de los ahorros netos (antes de depreciación) que se generarán a lo largo de la vida del proyecto. Que el VAN sea positivo el proyecto quiere decir que se han alcanzado y superado las expectativas y, por tanto, se acepta el proyecto. Que el VAN resulte negativo quiere decir que o bien no se obtienen beneficios o no se han llegado a



Gandia

colmar las expectativas de beneficio del proyecto. Si se están comparando varios proyectos prevalecerá el de mayor VAN.

Respecto a la TIR, es la tasa de descuento que hace nulo el VAN de una inversión, no depende del mercado financiero y se podría interpretar como el rendimiento del dinero que se ha mantenido en el proyecto. No obstante, hay que destacar que para tomar una decisión no se debe mirar solamente a la TIR porque es posible que, por ejemplo, un proyecto de una TIR del 37 % y unas ganancias de 15.000 € mientras que otro tenga una TIR del 34 % y unas ganancias de 20.000 €

7.3.1. Flujo de caja y PAYBACK

Con los datos de la Tabla 19 en la siguiente tabla se muestra el flujo de caja en los 20 años de vida útil de la embarcación:

Tabla 21. Flujo de caja del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

Año	Año de inversión	Ahorro (€)	Gasto (€)	Total (€)	Flujo de caja neto acumulado (€)
2021	0	0,00	239.580,00	-239.580,00	-239.580,00
2022	1	7.105,54	0,00	7.105,54	-232.474,46
2023	2	7.105,54	0,00	7.105,54	-225.368,92
2024	3	7.105,54	0,00	7.105,54	-218.263,38
2025	4	7.105,54	0,00	7.105,54	-211.157,84
2026	5	7.105,54	0,00	7.105,54	-204.052,30
2027	6	7.105,54	0,00	7.105,54	-196.946,76
2028	7	7.105,54	0,00	7.105,54	-189.841,23
2029	8	7.105,54	0,00	7.105,54	-182.735,69
2030	9	7.105,54	0,00	7.105,54	-175.630,15
2031	10	7.105,54	0,00	7.105,54	-168.524,61
2032	11	7.105,54	0,00	7.105,54	-161.419,07
2033	12	7.105,54	0,00	7.105,54	-154.313,53
2034	13	7.105,54	0,00	7.105,54	-147.207,99
2035	14	7.105,54	0,00	7.105,54	-140.102,45
2036	15	7.105,54	0,00	7.105,54	-132.996,91
2037	16	7.105,54	0,00	7.105,54	-125.891,37
2038	17	7.105,54	0,00	7.105,54	-118.785,83
2039	18	7.105,54	0,00	7.105,54	-111.680,29
2040	19	7.105,54	0,00	7.105,54	-104.574,76
2041	20	7.105,54	0,00	7.105,54	-97.469,22

A modo representativo, en la siguiente imagen se muestra el flujo de caja del sistema de propulsión completamente eléctrico. Como se puede ver no se llega a recuperar la inversión inicial, quedándose al final de la inversión a -97.469,22€.

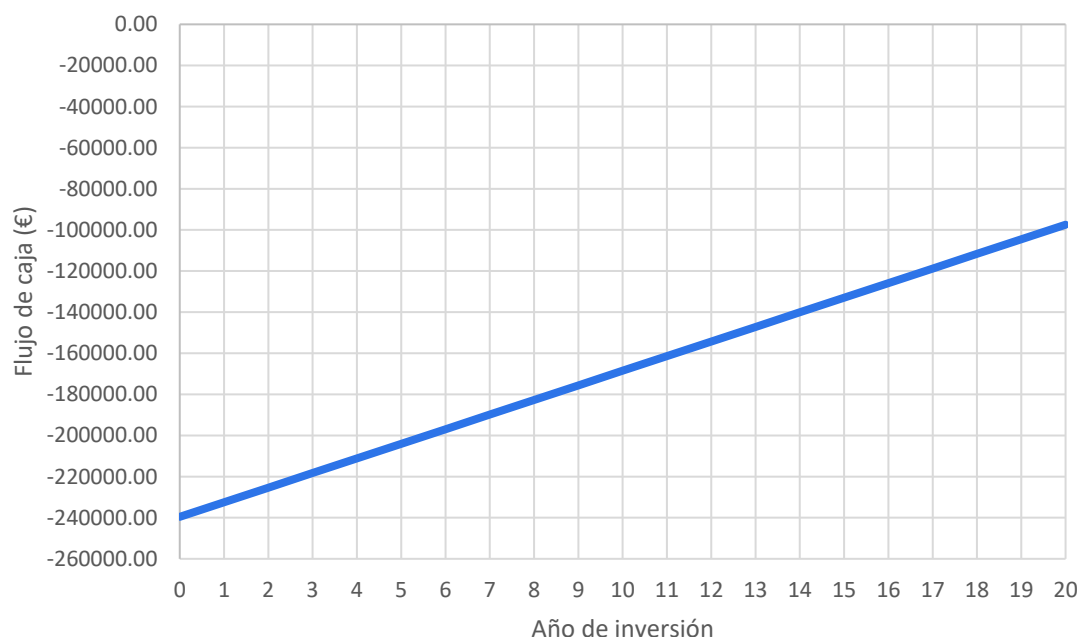


Imagen 39. Evolución de los flujos de caja netos acumulados a lo largo de la inversión del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

De igual manera con los datos de la Tabla 20 en la siguiente tabla se muestra el flujo de caja del sistema de propulsión híbrido en los 20 años de vida útil de la embarcación:

Tabla 22. Flujo de caja del sistema de propulsión híbrido propuesto.

Año	Año de inversión	Ahorro (€)	Gasto (€)	Total (€)	Flujo de caja neto acumulado (€)
2021	0	0,00	141.438,50	-141.438,50	-141.438,50
2022	1	2.529,55	0,00	2.529,55	-138.908,95
2023	2	2.529,55	0,00	2.529,55	-136.379,40
2024	3	2.529,55	0,00	2.529,55	-133.849,85
2025	4	2.529,55	0,00	2.529,55	-131.320,30
2026	5	2.529,55	0,00	2.529,55	-128.790,75
2027	6	2.529,55	0,00	2.529,55	-126.261,19
2028	7	2.529,55	0,00	2.529,55	-123.731,64
2029	8	2.529,55	0,00	2.529,55	-121.202,09
2030	9	2.529,55	0,00	2.529,55	-118.672,54
2031	10	2.529,55	0,00	2.529,55	-116.142,99
2032	11	2.529,55	0,00	2.529,55	-113.613,44
2033	12	2.529,55	0,00	2.529,55	-111.083,89
2034	13	2.529,55	0,00	2.529,55	-108.554,34
2035	14	2.529,55	0,00	2.529,55	-106.024,79
2036	15	2.529,55	0,00	2.529,55	-103.495,24
2037	16	2.529,55	0,00	2.529,55	-100.965,69
2038	17	2.529,55	0,00	2.529,55	-98.436,14
2039	18	2.529,55	0,00	2.529,55	-95.906,59
2040	19	2.529,55	0,00	2.529,55	-93.377,04
2041	20	3.055,55	0,00	3.055,55	-90.847,49

A modo representativo, en la siguiente imagen se muestra el flujo de caja del sistema de propulsión híbrido. Como se puede ver no se llega a recuperar la inversión inicial, quedándose al final de la inversión a -90.847,49€.

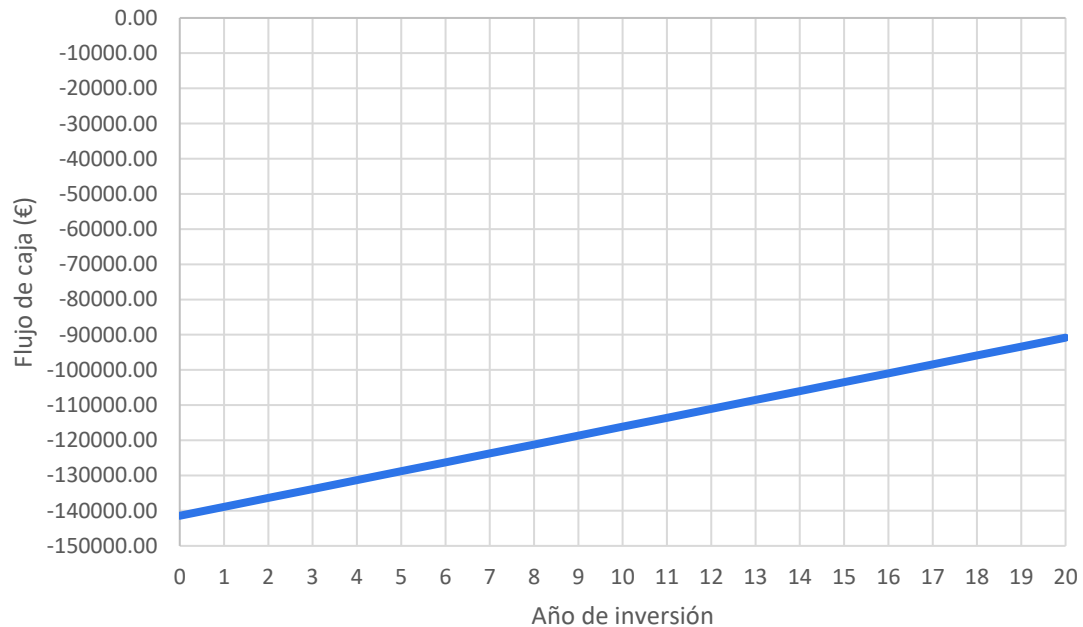


Imagen 40. Evolución de los flujos de caja netos acumulados a lo largo de la inversión del sistema de propulsión híbrido propuesto.

De los resultados anteriores se aprecia que en ningún caso se recupera la inversión inicial en los 20 años de vida útil.

7.3.2. VAN (Valor Actual Neto)

El VAN depende de dos factores: la tasa de interés y la tasa de actualización monetaria. Se calculará el VAN para diferentes tasas de interés en el rango [2, 10] y la tasa de actualización monetaria en el rango [-2, 5] de acuerdo con la inflación histórica de España.

Para la inversión inicial se considera que se pide un préstamo bancario que se solicita en el año 0 y con un plazo de devolución de cinco años con un tipo de interés anual del 10%. Para el gasto referente a la reposición de baterías, no se va a solicitar un préstamo bancario debido a que el coste no es excesivamente elevado en comparación al desembolso inicial.

A continuación, se muestran los resultados representados en una gráfica para ambos casos.

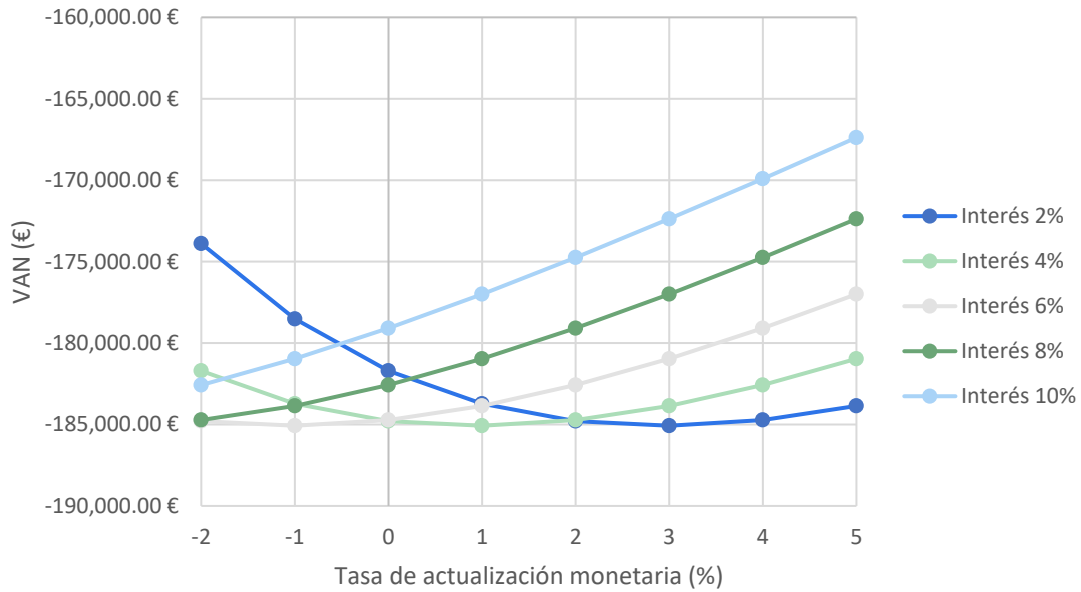


Imagen 41. Variación del VAN en función de la tasa de actualización monetaria y el interés bancario del sistema de propulsión eléctrico propuesto.

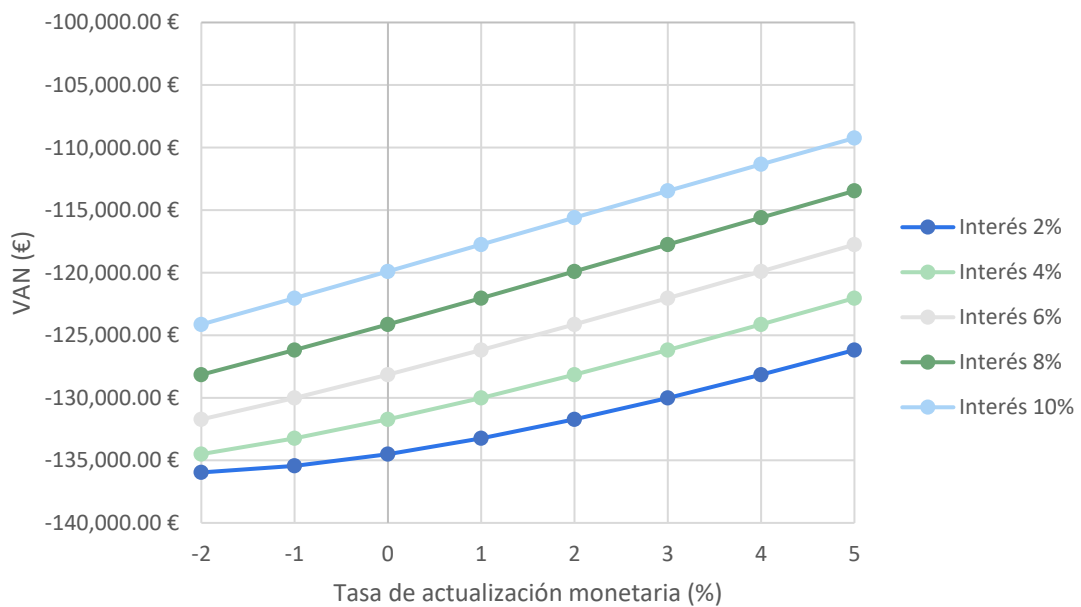


Imagen 42. Variación del VAN en función de la tasa de actualización monetaria y el interés bancario del sistema de propulsión híbrido propuesto.

A partir de los cálculos realizados y la representación gráfica de estos se pudo observar que el VAN siempre es negativo para todos los casos estudiados. Estos resultados son muy poco favorables de cara a tomar la decisión de invertir.

El VAN toma un valor de -173.892,22 € (sistema eléctrico) y -135.964,59 € (sistema híbrido) en la situación con el mínimo interés y con una tasa de actualización monetaria negativa. En el caso de máximo interés y tasa actualización máximas se obtiene un VAN de -167.382,29 € (sistema eléctrico) y -109.239,36 € (sistema híbrido).

En cualquier caso, ambos son negativos por lo que la inversión en términos económicos no es rentable y no se debería realizar. No obstante, si se dan ayudas



Gandia

para subvencionar parte de la inversión inicial la inversión pasaría a ser rentable para el trabajador, como se verá más adelante.

7.3.3. TIR (Tasa Interna de Retorno)

Como el VAN ha resultado negativo en todos los casos se prevé que el TIR también salga negativo. Se obtiene -8,62% (sistema eléctrico) y -12,82% (sistema híbrido), lo que indica que durante toda la vida útil de la instalación no se llega a recuperar la inversión inicial.

7.3.4. Comparación de resultados

En la siguiente tabla se muestran un resumen de los resultados.

Tabla 23. Resumen de los resultados del sistema de propulsión eléctrico e híbrido.

Concepto	Sistema eléctrico	Sistema híbrido
Flujo de caja fin de vida (€)	-97.469,22	-90.847,49
VAN ($I=0\%$ e $IPC=2\%$) (€)	-173.892,22	-135.964,59
TIR (%)	-8,62	-12,82

Como se puede ver, en ambos casos el flujo de caja al final de los 20 años indica que no se llegaría a recuperar la inversión inicial, aunque con el sistema híbrido se estaría menos endeudado. El VAN indica que con el sistema híbrido se obtiene un mejor rendimiento económico que con el sistema eléctrico. El TIR por su parte indica que con el sistema eléctrico se obtendría una mayor rentabilidad económica. En cualquier caso, no se recupera la inversión ni se obtiene rentabilidad económica.

En este caso, en el que no se obtiene la rentabilidad económica esperada no se debería realizar la inversión. No obstante, entre las dos opciones, la que tiene el VAN más positivo es la opción del sistema de propulsión híbrido. Por lo que **se propone el escenario de hibridación del motor actual**, además supone un menor coste de inversión inicial.

Aunque los resultados de ambos son negativos e indican que en ambos casos no resulta rentable económicamente, en la viabilidad de proyectos también se deben tener en cuenta aspectos técnicos, sociales y ambientales y el impacto del proyecto sobre el medio que lo rodea. En este caso, los beneficios de las embarcaciones eléctricas y/o híbridas radican en la reducción de la contaminación del ambiente y en su influencia en poblaciones o grupos de trabajadores, cuyas actividades laborales están relacionados con la pesca.

Finalmente, cabe resaltar que la viabilidad económica cambiaría si se hiciera más o menos uso de la embarcación, por ejemplo. Se ha dimensionado para la pesca tipo palangre porque es la más laboriosa y con la que más combustible se consume, según los trabajadores, pero se podría dimensionar para cualquier otro tipo de pesca. Por otra parte, si se realiza un mantenimiento correcto del sistema eléctrico la vida útil se podría prolongar mas allá de los 20 años.

8. Análisis medioambiental

Uno de los aspectos más importantes es el impacto de las embarcaciones eléctricas en el medio ambiente. Pese a que económicamente debido a las soluciones de momento *ad hoc* y los altos precios de las baterías, los beneficios medioambientales de las embarcaciones eléctricas frente a la de combustión son muchas. Desde la reducción de contaminación acústica al cese de vertidos hidrocarburos inquemados y reducción de emisiones de gases de escape productos de la combustión. Lo que deriva en unas mejores condiciones de navegación para las personas a bordo, la mejora de la calidad del agua y de las condiciones de hábitat de la flora y fauna. Así como la mejora de las condiciones laborales de las personas trabajadoras que utilizan embarcaciones. Esta sección presenta un Análisis de Ciclo de Vida que compara la embarcación totalmente eléctrica, embarcación de combustión diésel actual y una embarcación híbrida, con la combinación de ambos sistemas. Después se centra en el análisis sobre la reducción de vertidos y la contaminación acústica.

8.1. Análisis de ciclo de vida

La propulsión eléctrica no genera contaminación durante su uso pues, el único empleo que se realiza es el consumo de energía eléctrica almacenada en las baterías disponibles en la embarcación. Sin embargo, durante la formación de todos los elementos constitutivos del nuevo sistema de propulsión si se producen emisiones, agotamiento de recursos y otros daños ambientales debidos a la propia fabricación y transporte, entre otros. Por tanto, para una correcta evaluación de los impactos ambientales generados en la electrificación de las barcas se ha realizado una comparativa mediante el análisis de ciclo de vida de ambos sistemas de propulsión. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental reconocida internacionalmente por la norma ISO 14040 que comprende un estudio y evaluación de impactos ambientales completo de productos, procesos o actividades. Siendo así reconocible y evaluable el impacto de la formación o desarrollo de estos.

El estudio realizado tiene como misión evaluar los impactos ambientales ocasionados en el ciclo de vida de los sistemas de propulsión, desde la extracción de materias primas y su procesado hasta el fin de vida útil de los elementos. Por tanto, este estudio trata en primer término de evaluar y analizar los tres sistemas por separado, remarcando los aspectos más importantes y, en segundo término, la comparación de estos sistemas con el objetivo de comprender las mejoras derivadas del cambio del sistema tradicional.

Los sistemas estudiados comprenden un estudio “de la cuna a la tumba” (*Cradle-to-Grave*) es decir, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los elementos seleccionados pasando por la producción de estos elementos, el mantenimiento y uso. Las etapas consideradas en el estudio se pueden observar en la Imagen 43. No se ha considerado el reciclado de estos elementos, pero sí se ha tenido en cuenta para la formación de nuevo material el porcentaje relativo de material recuperado necesario o usado habitualmente en la industria, como es el caso de las baterías de ácido plomo que son usadas en el sistema actual. Para el



Gandia

uso de los sistemas se emplea, por un lado, diésel y, por otro lado, electricidad. Por tanto, se ha considerado para cada caso un análisis “del pozo a la rueda” (*Well-to-Wheel*) es decir, desde la extracción del petróleo o la generación de electricidad hasta que es consumido por la barca.

Las categorías de impacto que han sido consideradas en el análisis son: extracción de minerales, agotamiento de energía no renovable, acidificación del suelo, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad acuática, agotamiento de la capa de ozono, radiación ionizante, ocupación del suelo, calentamiento global e impactos en la salud humana como en el sistema respiratorio ocasionados por sustancias orgánicas e inorgánicas y causas de enfermedades cancerígenas y no cancerígenas.

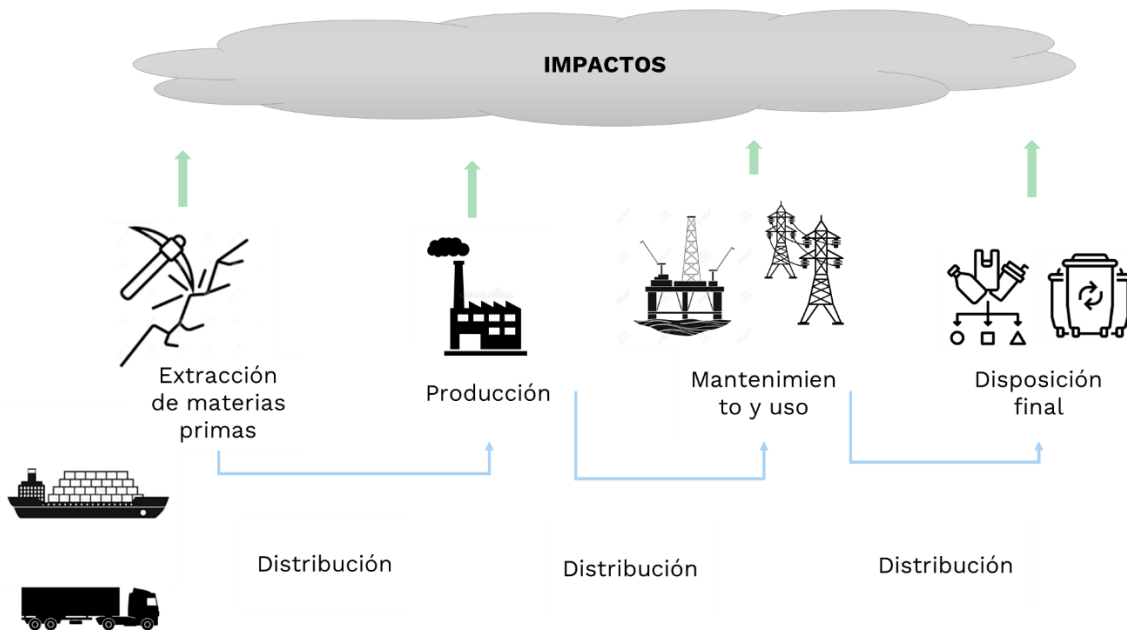


Imagen 43. Etapas de ciclo de vida consideradas. (De la Cuna a la Tumba).

Los productos y servicios usados por los trabajadores como comida o productos higiénicos no han sido incluidos en el análisis, así como los posibles impactos generados por desastres naturales o debidos a accidentes.

Para llevar a cabo el estudio, se ha utilizado el software SimaPro y se ha utilizado el método de impactos ambientales IMPACT 2002+. En caso de no haber encontrado la información necesaria en Ecoinvent, se han utilizado también las bases de datos ELCD y Agri-foodprint. El método de impacto IMPACT 2002+ está formado por la combinación de otros cuatro métodos: IMPACT 2002, Eco-Indicador 99, CML y IPCC.

La unidad funcional definida para este análisis y, con capacidad de comparación entre los tres sistemas de propulsión considerados es 1 trayecto recorrido por los barcos que recorren diariamente 50 km de distancia de media durante 260 días al año, considerando una vida útil total de la instalación de 20 años.

Para el sistema eléctrico se considera un tren eléctrico de potencia, que incluye un motor eléctrico, un inversor, un convertidor, un cargador y el sistema de distribución como elementos principales. Además, se considera el almacenamiento

energético con la incorporación de 2 bancadas con 3 packs de baterías de litio mientras que para el sistema híbrido se consideran dos bancadas con un pack de baterías cada una, también de litio.

Se considera un motor interno de combustión con empleo de combustible diésel, un depósito de combustible y 4 baterías de ácido plomo para el arranque, iluminación y aparatos eléctricos de la embarcación. Se ha considerado el mantener las baterías de ácido plomo en los sistemas eléctrico e híbrido para aplicaciones eléctricas no propulsivas.

En el ACV no se ha considerado la fabricación de la embarcación pues, se asume que se generará un aprovechamiento de las barcas ya construidas y, tampoco se ha considerado la fabricación de las hélices pues pueden ser usadas en los tres sistemas y no es necesario su cambio.

Se ha considerado que, siguiendo con la tecnología actual de la movilidad eléctrica, los elementos escogidos son representativos, pero, cabe destacar que, debido al avance en este tipo de tecnologías seguramente en unos años las baterías puedan ser remplazadas por otras más eficientes, menos costosas y que generen menor impacto medioambiental.

Además, resaltar que, en función de la progresión de la descarbonización del mix energético español, motivada por la transición energética, la mayor presencia de renovables proporcionará una reducción de emisiones de CO₂, generando así unos impactos menores en el uso de la electricidad. Debido a que el proyecto se va a desarrollar durante 20 años, se ha considerado el mix energético de España en el año 2020, con un factor de emisiones de 0,19 tCO₂/kWh. Esto resulta en una hipótesis conservadora debido a la reducción de la intensidad de carbono del sector eléctrico planificado en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

El estudio se ha realizado teniendo en cuenta que los sistemas se van a implantar para la embarcación de estudio, para la Cofradía de Pescadores de Gandía. Para ello se ha considerado el transporte y distribución de todos los elementos desde la fábrica donde se producen hasta este embarcadero, considerando en cada caso el transporte marítimo, terrestre o una combinación de ambos.

Los elementos considerados en los sistemas de propulsión se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Elementos considerados en el ICV.

Elemento	Peso (kg)
Motor de combustión	1.300
Depósito de combustible	17,73
Baterías Pb-Ácido	239,1
Sistema de transmisión eléctrico puro	110
Sistema de transmisión eléctrico híbrido	50
Baterías Li-ion Eléctrico	2.364
Baterías Li-ion Híbrido	460



Gandia

La vida útil de las baterías de litio es de 6500 ciclos aproximadamente que, según las recargas que se llevan a cabo en las embarcaciones equivale a 25 años de uso por tanto, no se considera en las instalaciones el reemplazo de estos elementos durante los 20 años de vida útil considerada para la embarcación. Para las baterías de ácido, debido al número de ciclos algo menor se hace necesario el cambio de estas cada 10 años. La vida útil del motor de combustión es de entre 40 a 50 años y, la vida útil del tanque de combustible y el sistema de propulsión eléctrico es de 20 años, aunque si se realiza un mantenimiento correcto la vida útil puede ser mayor. Por lo tanto, se considerarán para los tres sistemas únicamente el cambio de las baterías de plomo.

Para la etapa del ciclo de vida de uso y mantenimiento se ha considerado un consumo de diésel de 70 L al día para sistema de combustión térmica puro y 47,5 L para el híbrido mientras que para el consumo de electricidad se ha considerado un consumo de 121 kWh al día en el eléctrico puro y 20,53 kWh para el sistema híbrido. Los consumos totales durante la vida útil de la instalación se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 25. Resumen de los consumos de las cada una de las tres opciones.

Concepto	Eléctrico	Híbrido	Diésel
Consumo diésel (L)	-	247.000	364.000
Consumo electricidad (kWh)	629.200	118.612	-

8.1.1. Evaluación del impacto del ciclo de vida

Mediante el uso de SimaPro se han obtenido los aspectos ambientales característicos que son susceptibles a interactuar con el medioambiente y causar daños en este.

La Imagen 44 muestra la comparativa entre el ACV de los sistemas de propulsión. Como puede observarse, a nivel medioambiental al sistema eléctrico puro es el más beneficioso con diferencia de los tres sistemas estudiados. Pasando de un impacto eléctrico aproximado de 150 puntos a un impacto del diésel de más de 1600 puntos. Esto implica que, durante los 20 años de vida útil analizados, el uso del motor actual conlleva a unos impactos ambientales casi 11 veces mayores a aquellos ocurridos debido al sistema eléctrico. La Imagen 45 muestra asimismo el impacto de cada sistema por cada una de las etapas. Como se puede observar, el mayor impacto del sistema de propulsión diésel se produce durante su uso, debido a la quema de combustible. Asimismo, teniendo en cuenta los factores de emisión citados 44,7 toneladas de CO₂ al año por embarcación y 894 toneladas de CO₂ de los 20 años de vida útil.

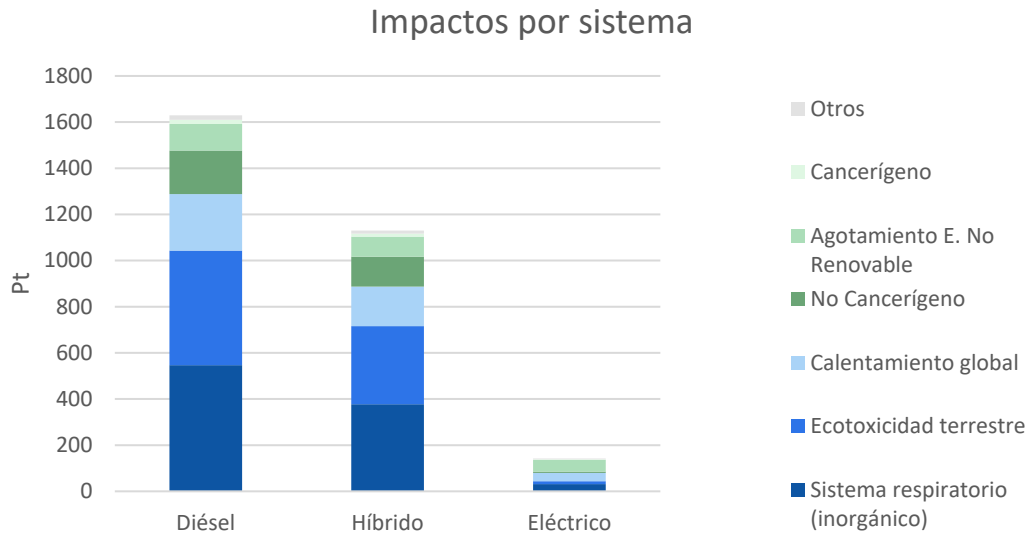


Imagen 44. Comparación del ACV entre sistemas de propulsión.

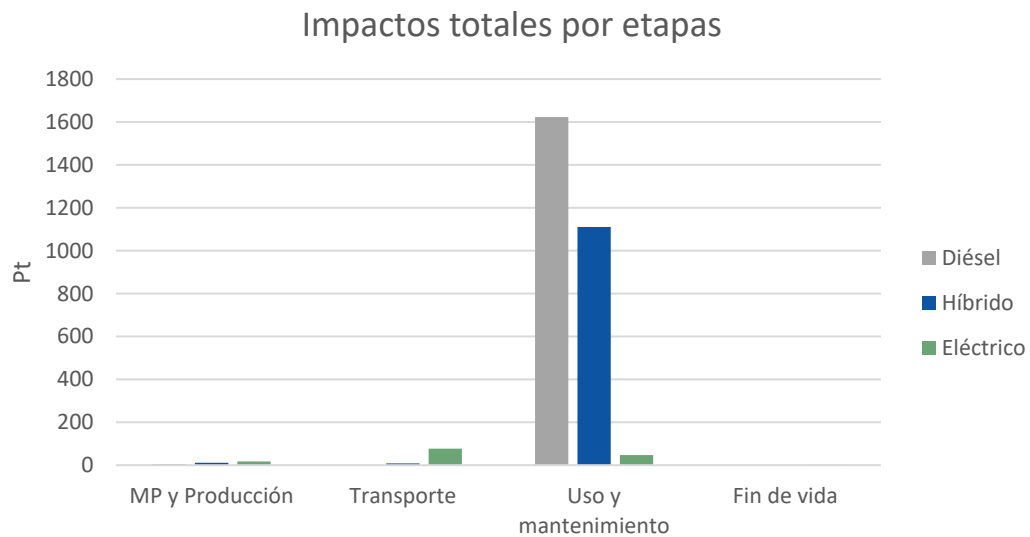


Imagen 45. Comparativa de los impactos de los sistemas de propulsión por etapas.

La Imagen 46, Imagen 47 e Imagen 48 **Imagen 48** muestran la influencia de los impactos ambientales en cada etapa del ciclo de vida. Para mediar los impactos generados, la unidad de medida en el método IMPACT 2002+ es el punto y corresponde a los impactos generados por un europeo medio en un año, siendo así una medida para comparar el impacto ambiental generado por dos sistemas.

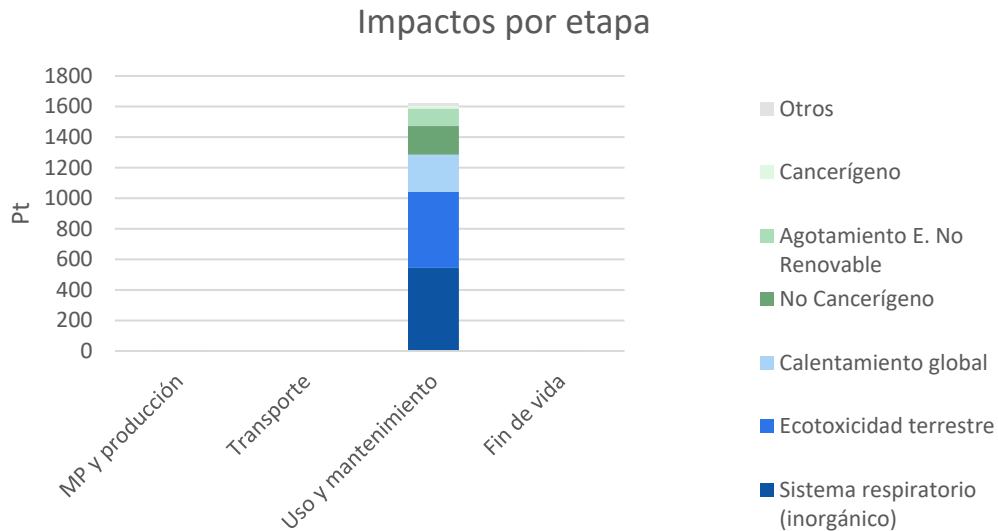


Imagen 46. Impactos ambientales por etapa del sistema de propulsión térmico.

Como se observa en la Imagen 46, el mayor impacto en el sistema térmico se produce en la etapa de uso, es decir, en la quema de combustible fósil. Llegando a un impacto equivalente a superar los 1600 puntos.

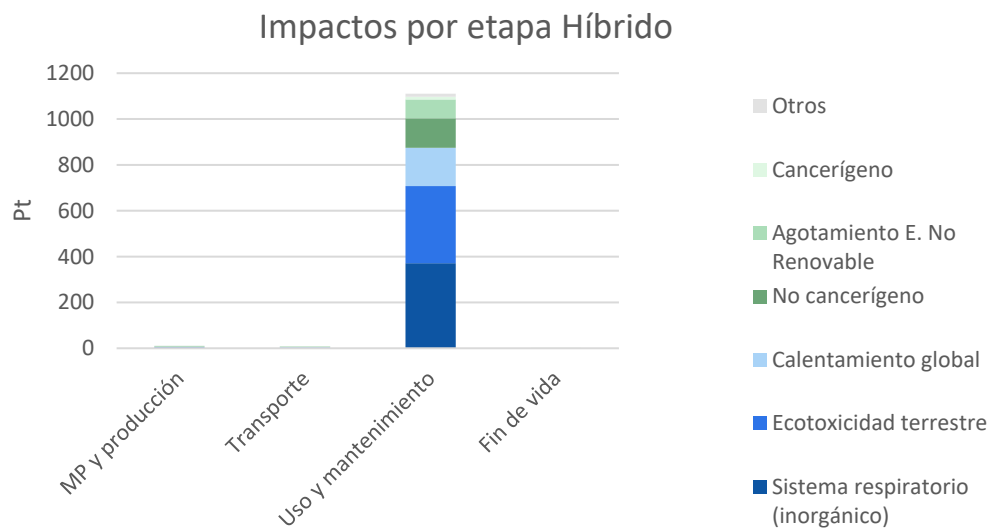


Imagen 47. Impactos ambientales por etapa del sistema de propulsión híbrido.

En la Imagen 47 se puede apreciar que el sistema de propulsión híbrido es susceptible a tener mayores impactos en la etapa de uso, debido a la quema del combustible fósil y obtención de éste y, en pequeña medida del transporte asociado a los elementos constructivos de la instalación.

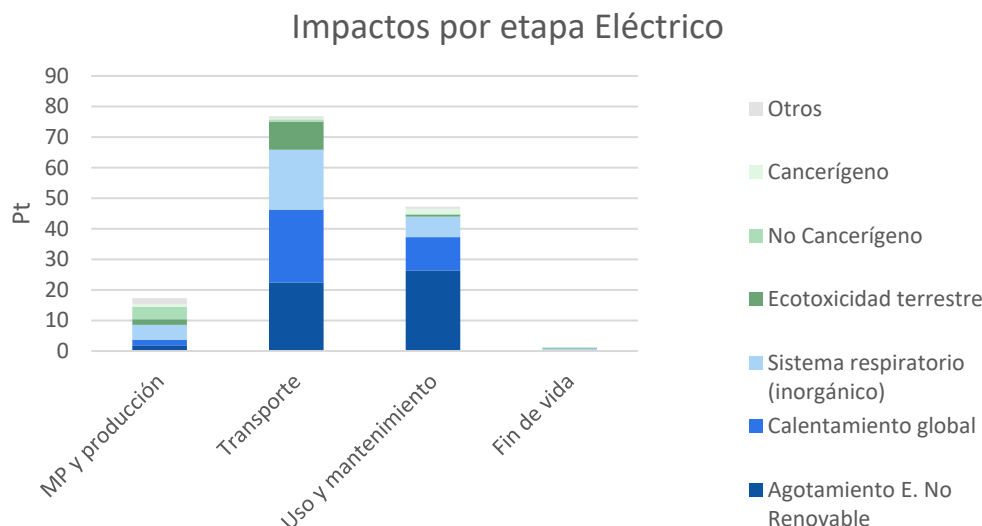


Imagen 48. Impactos ambientales por etapa del sistema de propulsión eléctrico.

Se puede destacar de la Imagen 48 que los menores impactos ambientales se producen en las etapas de fin de vida útil de la instalación. En esta etapa se incluyen las emisiones y recursos utilizados para la separación y disposición final de los elementos en vertederos o instalaciones para su reciclado y recuperación. En este sistema se observa que la producción, el transporte y el mantenimiento y uso son las etapas de ciclo de vida que causan la mayor parte del impacto, cabe resaltar que el mayor impacto de uso y mantenimiento está referido al uso de la electricidad y por tanto todos los impactos asociados con su generación, transporte y distribución. Por tanto, la descarbonización del sistema eléctrico llevará asociada una elevada reducción de los impactos en el uso de la electricidad debido a la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera durante la generación eléctrica.

Mediante la comparativa de los tres sistemas se puede observar que el sistema más beneficioso para las barcas a nivel medioambiental es el eléctrico puro en que los mayores impactos se producirían por el transporte de elementos constructivos tales como motores y baterías de largas distancias. Hecho que podría reducirse con la incorporación de elementos construidos en Europa o manufacturados en España. Por otro lado, el sistema que mayores impactos genera es el sistema actual. Además, que el uso de un combustible de origen fósil sea el más destacado hace despreciable el resto de los impactos que el sistema térmico produce. Por último, el sistema que presenta una combinación de ambos sistemas se destaca que el uso del combustible diésel es el mayor impacto que, aún disminuido por el efecto del uso de electricidad, sigue siendo elevado, aunque pasando de 1600 puntos a 970 aproximadamente.

8.2. Vertidos

En los mares y océanos el transporte marítimo internacional cubre más del 80% del comercio mundial, el cual se realiza a través de unos 90.000 buques según la



Gandía

OMI (Organización Marítima Internacional)¹⁰. De hecho, se estima que los 15 buques de comercio más grandes emiten el equivalente a todos los coches del mundo.

Por su parte, la pesca también contribuye en la contaminación pues generan diariamente toneladas de residuos a bordo de las embarcaciones y en los puertos que en su mayor parte no son gestionadas ni tratadas correctamente (Lista Periscal, 2011). Esta basura marina provoca un impacto ambiental que afecta tanto a la calidad de las aguas y fondos marinos como a las especies que los habitan.

Los principales residuos son las botellas y las bolsas de plástico, vidrio, restos de artes y aparejos de pesca hasta restos de cigarrillos, televisiones, etc. De entre ellos, las botellas y bolsas de plásticos representan más del 80% de los residuos encontrados en los océanos del mundo. Estos desechos marinos se rompen de forma paulatina en trozos cada vez más pequeños, que pueden ser consumidos por seres vivos de la cadena alimentaria, por lo que la contaminación podría ser cada vez mayor en los alimentos de mar.

Por su parte, en los fondos marinos más próximos a los puertos destacan los residuos sólidos provenientes de mantenimiento, reparación y reformas de embarcaciones (cambio de aceites, pintura, batería, etc.) realizados en el área portuaria. También residuos procedentes de actividades de venta de productos en la lonja como las propias cajas de pescado, por ejemplo.

Respecto a los vertidos pueden ser voluntarios o involuntarios (Lupidi et al., 2017). Los involuntarios, como Exxon Valdez, Erika y Prestige, solo representan alrededor del 5%, y el 95% restante de vertidos proviene de descargas ilegales según la utilización del SAR (Radar de Apertura Sintética) (Galland et al., 2004).

Respecto a los vertidos de hidrocarburos producto de la combustión del barco de estudio es difícil de medir exactamente la cantidad sino se tiene las herramientas necesarias, pero dado los resultados de la simulación del barco en las secciones anteriores se estima que de 70 litros se pase a consumir 47,5 litros para la actividad laboral descrita en las secciones anteriores, ya que parte de la energía sería abastecida con la energía eléctrica almacenada en las baterías y el motor de combustión funcionará con mejores rendimientos. Por lo que, **los vertidos de hidrocarburos con sistemas híbridos se reducirían en alrededor del 32%.**

8.3. Contaminación acústica

En segundo lugar, como se ha mencionado anteriormente, en el puerto de Gandía están registradas 40 embarcaciones totales, de las que 31 son de artes menores¹¹. En todas ellas, sean del tamaño que sean, los motores de las embarcaciones y el efecto de cavitación producen vibraciones y sobre todo ruido, que a la larga puede ser perjudicial para la capacidad auditiva de las personas que diariamente lo perciben (López Fachal, 2012).

En los barcos de transporte de personas se busca aislar y minimizar las molestias que puedan causar el ruido y las vibraciones del motor y de las hélices, entre otros. Específicamente, en los barcos que navegan a altas velocidades el ruido más audible es el producido por la cavitación. Que es un fenómeno que se basa en el

¹⁰ <https://www.imo.org/>

¹¹ <https://agroambient.gva.es/es/web/pesca/flota-pesquera>



Gandia

principio de Bernoulli, en el que en cualquier punto de las hélices las altas velocidades del fluido dan lugar a presiones bajas, en el que si la presión es menor que la presión de vapor el agua de ese punto se evapora. La burbuja generada se desplaza por la hélice hasta llegar a zonas donde la presión es mayor, por lo que tiende a hacer el proceso contrario convirtiéndose la gota de vapor en gota de agua (que tiene un menor volumen que el vapor). Por lo que, en ese momento la burbuja colapsa y explota, lo cual puede dañar la integridad de las hélices, y se produce un vacío que se rellena rápidamente por el líquido circundante.

Por su parte, en los barcos de pesca también se busca minimizar las molestias que pueden causar para tener condiciones laborales adecuadas, sobre todo en las zonas donde se necesita más comodidad, como en los camarotes. En los barcos de artes menores al ser de menor dimensión y al tener el motor más cerca lo que más se percibe es el ruido del motor, pero también se produce ruido por cavitación.

Durante las visitas de campo se midieron el ruido del motor a 1,5 metros del motor, con la tapa cerrada del recinto donde se encuentra el motor y a diferentes estados del motor. Cuando se iba de ida a la zona de pesca a una velocidad de 9 nudos, y al ralentí cuando se estaba recogiendo el género pescado en la línea de palangre. En la siguiente tabla se muestran los resultados de las mediciones.

Tabla 26. Resultado de las mediciones de ruido en el barco de estudio.

Estado del motor	Distancia del motor	Ruido (dB(A))
Ida a la zona de pesca, a 9 nudos	1,5 metros	72,6
Ralentí, recogida del palangre	1,5 metros	69,9

A modo ilustrativo, en la siguiente imagen se refleja los resultados de las mediciones.

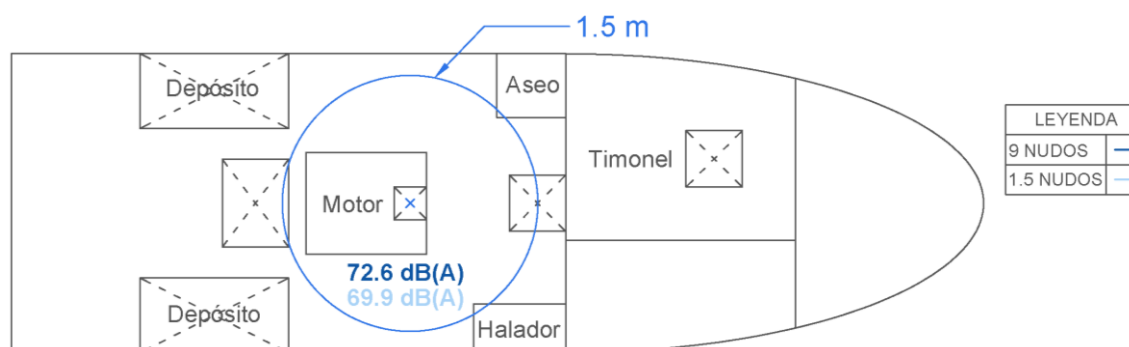


Imagen 49. Resultados de la medición de ruido en el barco de estudio.

Durante la navegación, el ruido del motor obligaba al capitán del barco a usar un megáfono de barco para que se le escuchara. Respecto a ello, los trabajadores también manifestaron que el ruido dificulta la comunicación entre ellos. Cuando descansaban en el camarote una hora esperando a que las doradas picasen apagaban el motor y descansaban del ruido.

Respecto a los límites legales de ruido en la ordenanza municipal no hay valores específicos para ruido en barcos al estar al aire libre y no perjudicar sensiblemente a otras personas que puedan estar cerca del barco cuando está navegando. No obstante, los valores se acercan a los 75 dB(A), valor a partir del cual se considera



Gandia

daño existente en la capacidad auditiva de las personas que lo perciben (Chávez Miranda, 2006).

Respecto al ruido que realizaría el motor eléctrico, si se toma como referencia las mediciones realizadas en la eTramuntana¹² de la primera embarcación eléctrica del Ayuntamiento de Valencia, se pasaría a emitir alrededor de 60 dB(A) a máxima potencia y 50 dB(A) 2/3 de la máxima potencia (Comunitat de Pescadors de El Palmar, 2021) a 0,5 metros del motor. Que son niveles de ruido cercanos a 56 dB(A), propio de una conversación.

En cualquier caso, la contaminación se reduciría sensiblemente en los momentos en los que se navegue puramente con el motor eléctrico. Los principales beneficiados de la reducción de contaminación acústica serían los trabajadores que día a día están expuestos a niveles de ruido no saludables y los habitantes cercanos al puerto que sufren los ruidos en la entrada y salida de las embarcaciones.

8.4. Emisión de gases contaminantes

En tercer lugar, al usar combustibles basados en carbono los barcos de artes emiten gases contaminantes que contribuyen al calentamiento global.

Como se ha mencionado anteriormente, con el sistema híbrido se estima que se pasa de consumir 70 litros a 47,5 litros de gasoil, pues parte de la energía será abastecida por la energía eléctrica almacenada en las baterías (consumo estimado de 20,53 kWh) y el motor de combustión trabajará con mejores rendimientos.

Por ello, para calcular la reducción de contaminación de gases contaminantes se usan los factores de emisión de las fuentes de energía (gasoil y energía eléctrica de España), que son de 2,493 kg CO₂/l, mientras que el factor de emisión de la energía eléctrica en España es 1,910⁻⁴ t CO₂/kWh. Dicho cálculo se realizó y se reflejó en la Tabla 18, dando una **reducción anual en emisiones de 13,24 tCO₂**. Lo que en 20 años de vida útil del sistema supondría un ahorro en emisiones de 264,82 tCO₂.

¹² levante-emv

9. Riesgos, barreras y oportunidades

En este apartado se enumeran y comentan una serie de riesgos, barreras y oportunidades que se han identificado alrededor del proyecto de transición de las embarcaciones eléctricas/híbridas en el ámbito ambiental, laboral y social que le rodea.

9.1. Riesgos

Los riesgos principales a los que se enfrentan las embarcaciones eléctricas son la **aceptación social** debido a que la sociedad y, sobre todo, las personas que trabajan en el sector todavía no han comprobado su correcto funcionamiento en la navegación y a que todavía **no se dispone de estaciones de recarga accesibles** para los trabajadores en el puerto de Gandía para las embarcaciones. Si hay instalado un punto de recarga para vehículos eléctricos, alimentado por un sistema fotovoltaico instalado en el tejado de la lonja de la cofradía de pescadores.

Esta falta de aceptación social se relaciona con el riesgo de quedarse sin energía en algunos momentos en los que las condiciones de navegación sean críticas. A pesar de haber considerado energía sobrante para casos críticos y que la potencia de motor dispone de energía, al ser un sistema de propulsión novedoso y todavía no maduro a nivel social, una solución puramente eléctrica puede generar reticencias.

La recarga y uso de baterías se soluciona en parte siguiendo las recomendaciones de uso descritos en la Tabla 14 para un correcto funcionamiento de la embarcación. Adicionalmente a modo de seguridad el control del sistema muestra en el monitor el porcentaje de carga, el tiempo estimado disponible y se puede configurar una alarma que avise cuando está llegando a los 90% de descarga para que el capitán del barco lo tenga en cuenta.

Por su parte, las embarcaciones híbridas tienen un uso más extendido en la industria y en el sector del transporte. Por lo que *a priori* no se enfrentarían al problema de aceptación social.

En caso de no seguir las indicaciones de recomendaciones de uso, como por ejemplo descargar completamente las baterías, se correrían riesgos de **degradación acelerada de las baterías**. Lo que afectaría a la capacidad de almacenamiento de las baterías, es decir, a la autonomía de la embarcación y al periodo de renovación de las baterías, pues se deberían renovar en menos tiempo.

El acceso a estaciones de recarga accesibles se debe resolver por parte de las administraciones públicas impulsando ayudas para la instalación de estaciones de recarga para la movilidad eléctrica en el puerto de Gandía, los cuales también pueden servir para la recarga de coches eléctricos. Lo que precisamente es una de las oportunidades del proyecto, la captación de fondos europeos para llevar a cabo esta transición, y ayudas promovidas y recogidas en la Ley de Cambio Climático y Transición Energética.

Por su parte, las embarcaciones híbridas en paralelo podrían llegar a evitar el riesgo de no disponer actualmente de estaciones de recarga accesibles pues se podría



Gandia

usar la energía del motor de combustión interna para cargar las baterías en el trayecto del lugar de pesca al puerto, como se ha descrito en las secciones anteriores.

Finalmente, existe una problemática asociada a los riesgos de robo del material eléctrico y electrónico de gran valor de las embarcaciones. Cabe resaltar que los bancos de baterías, que son uno de los elementos de mayor coste, tienen un peso elevado, con lo que dificultaría el robo. Asimismo, las personas preguntadas en el puerto han mencionado que esto no suele ser una problemática habitual, aunque han sufrido hurtos de herramientas de pesca, entre otros.

9.2. Barreras

Una de las barreras principales a las que se enfrenta el proyecto es el **alto coste de inversión inicial**, pues los trabajadores que se dedican a la pesca tienen capacidad de inversión reducida. Otra de las barreras es la **no viabilidad económica**, pues no se llega a recuperar el dinero invertido, siendo por tanto unos proyectos deficitarios a nivel económico.

Ambas barreras se pueden solventar con una serie de ayudas económicas para la subvención total o parcial de la inversión inicial y la posibilidad de créditos a intereses bajos en plazos para su cómoda devolución. Con ello, en vista de los resultados económicos obtenidos, se debería subvencionar como mínimo un 80% de la inversión inicial, esto es 115.000,00 €, para que el proyecto sea viable económicamente y el dinero invertido se recupere en al menos 10 años.

Asimismo, se espera que la evolución tecnológica de las baterías reduzca su precio en los próximos años. Además, no tener que realizar soluciones *ad hoc* y una mayor estandarización y conocimiento de las empresas que trabajan en el sector, tiene el potencial de reducir los costes de inversión inicial.

9.3. Oportunidades

Las principales oportunidades del proyecto son la reducción de los costes de operación, la captación de fondos europeos de recuperación y la posibilidad de obtención de sellos de calidad en la pesca.

Los costes de operación, es decir los gastos en combustible y mantenimiento, se ven reducidos al usar energía eléctrica y debido a que los motores eléctricos requieren menos mantenimiento y son más eficientes. Para lo cual se estima que se ahorra 2.529,55€, como se muestra en la Tabla 18. Sin embargo, aunque se reducen los costes en operación, la elevada inversión inicial representa una barrera que hace que el proyecto no sea viable económicamente.

Respecto a esto, si se tiene en cuenta los beneficios de las embarcaciones eléctricas/híbridas en el ecosistema natural marino, una oportunidad para la financiación de futuros proyectos relacionados son la **captación de fondos europeos de recuperación**. En este ámbito, en España los fondos europeos de



Gandia

recuperación¹³ están gestionados por el MITECO¹⁴, en los que el proyecto puede encajar en varios de sus componentes de recuperación. Como la actuación “Plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos”, “Estrategia de transición justa” y “Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad”. Pero sobre todo con la acción “Preservación del espacio litoral y recursos hídricos”.

Finalmente, otra de las oportunidades son la obtención de sellos de calidad y medio ambiente en la pesca, como el sello azul de MSC¹⁵ o similar, ya que la embarcación eléctrica/híbrida contribuye en la mejora y recuperación del ecosistema natural marino al reducir la contaminación. Ello podría hacer más atractiva la pesca y la hostelería de poblaciones costeras como Gandía.

¹³ https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_es

¹⁴ <https://www.miteco.gob.es/ca/prensa/ultimas-noticias/el-plan-de-recuperaci%C3%B3n-destinar%C3%A1-m%C3%A1s-del-40-de-la-inversi%C3%B3n-a-la-transici%C3%B3n-ecol%C3%B3gica/tcm:34-525919>

¹⁵ <https://www.msc.org/es>



Gandía

10. Conclusiones

Este documento presenta el diseño y los análisis de viabilidad técnica, económica y medioambiental de una embarcación piloto diseñada para la Cofradía de Pescadores de Gandía. Asimismo, sirve como ejemplo para el diseño de cualquier embarcación de pesca de artes menores similar. En él se ha presentado un análisis de la situación, los usos existentes de embarcaciones y un análisis del consumo y usos energéticos de una embarcación en funcionamiento en la actualidad para diseñar un piloto de embarcación eléctrica.

A nivel técnico, se han planteado dos soluciones, una que cuenta con un sistema eléctrico exclusivamente y otra que cuenta con un motor híbrido. El sistema eléctrico incluye las baterías dimensionadas para tecnología ácido plomo y para Li-Ion. La solución de ácido plomo no resulta viable debido al elevado peso asociado a las necesidades energéticas. Por ello, se plantea una embarcación o de Litio o híbrida.

A nivel económico, cabe resaltar que estas embarcaciones eléctricas e híbrida en mar con este tipo de usos no son todavía rentables económicamente pues no se llega a recuperar la inversión inicial. De entre ellas, se llega a la conclusión que a día de hoy la tecnología que mejor se adapta a la pesca son los sistemas híbridos. El coste de las baterías, el motor eléctrico nuevo y la electrónica de potencia hacen poco viable la embarcación en comparación con la utilización de motores térmicos marinos. Cabe destacar el coste de las baterías representa una parte importante del presupuesto. Sin embargo, se espera que dichos costes disminuyan debido a la maduración de la tecnología y su producción en masa. Por otro lado, la electricidad es un vector energético mucho más eficiente y con un precio inferior al diésel para las embarcaciones, y la operación y el mantenimiento de sistemas de propulsión eléctrico tienen menos averías y menores costes a lo largo de la vida útil.

A nivel medioambiental, se muestra como los impactos de una embarcación de combustión es mayor que la de una embarcación eléctrica/híbrida. Asimismo, las embarcaciones híbridas también tienen un impacto positivo en la ayuda de la reducción en vertidos de hidrocarburos y reducción de la contaminación acústica. Esta última es especialmente relevante debido a mejoras en el impacto en ecosistemas marinos, de las condiciones de uso de las personas que emplean las embarcaciones y habitantes cercanos al puerto.

La transición energética a embarcaciones híbridas en el sector primario es un proyecto que cuenta actualmente con importantes beneficios a nivel ambiental, técnico y son el inicio de un aprendizaje para reducir los costes futuros y sentar las bases futuras. El encarecimiento del diésel, su próxima prohibición de motores térmicos y una mayor protección del medioambiente hacen de este proyecto una iniciativa para sentar las bases de la popularización de estas embarcaciones. Algo que se enfrenta a una serie de riesgos asociado a la falta de confianza en los motores eléctricos en barcos marinos y las necesidades de generar cambios parciales de hábitos para el buen uso de las embarcaciones.

Finalmente, este proyecto de transición energética de las embarcaciones de la Cofradía de Pescadores de Gandía se enmarca en los objetivos de los nuevos fondos europeos puede abrir oportunidades de financiación relacionados con la



Gandia

transición energética, la conservación del medio ambiente y la potenciación de sectores económicos primarios, lo que abre la puerta a que en el corto plazo este tipo de sistemas sean económicamente rentables.



Gandia

Referencias

- Bejarano-Cáceres, D. S., Ribó-Pérez, D., & Alcázar-Ortega, M. (2020). Electrification of the boat fleet of the Albufera Natural Park of Valencia: methodology, economic and environmental assessments. *Renewable Energy and Power Quality Journal*. <https://doi.org/10.24084/repqj18.254>
- Bellmarine. (2013). *User manual: Propeller Shaft Propulsion*.
- Bellmarine. (2021). *Parallel Hybrid System*. <https://www.bellmarine.tech/en/products/parallel-hybrid-system/>
- Chávez Miranda, J. R. (2006). Ruido laboral. *Ciencia y Trabajo*, 8. www.cienciaytrabajo.cl
- Comunitat de Pescadors de El Palmar. (2021). Diseño de una embarcación piloto y recomendaciones de uso. *Naus Amb Energía Neta. Estudio de La Implementación de Barcas Con Motor Eléctrico En La Albufera de València*.
- Cueva, E., Lucero, J., Guzmán, A., Rocha, J., Espinoza, L., Cueva, E., Lucero, J., Guzmán, A., Rocha, J., & Espinoza, L. (2018). Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices. *Enfoque UTE*, 9(1), 166–176. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V9N1.202>
- Drouilhet, S., & Johnson, B. L. (1997). A battery life prediction method for hybrid power applications. *35th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. <https://doi.org/10.2514/6.1997-948>
- F. Molland, A. (2011). *The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=59XvXKbyvZIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=engineering+naval+book&ots=6dpADzOf-m&sig=S7b1eunGUHLzef5rXnAlhRrXhjs&redir_esc=y#v=onepage&q=engineering%20naval%20book&f=false
- Fonseca, M., & Solís, V. (2019). Pesca artesanal y participación en conservación de recursos marino-costeros. *Revista de Ciencias Ambientales*, 30(1), 44–51. <https://doi.org/10.15359/RCA.30-1.7>
- Galland, F., Refregier, P., & Germain, O. (2004). Synthetic Aperture Radar Oil Spill Segmentation by Stochastic Complexity Minimization. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(4), 295–299. [https://doi.org/10.1109 / LGRS.2004.835346](https://doi.org/10.1109/LGRS.2004.835346)
- Herrera-Racionero, P., Lizcano-Fernández, E., & Miret-Pastor, L. (2015). “Us” and “them”. Fishermen from Gandía and the loss of institutional legitimacy. *Marine Policy*, 54, 130–136. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2014.12.018>
- Lista Periscal, Y. (2011). *Basura Marina de bajura*. https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/i18n/cat_alogo_imagenes/grupo.do?path=1066314
- López Fachal, P. (2012). *Comparación de los criterios de calidad acústica con los estándares de confort admitidos por las sociedades de clasificación en mediciones de ruidos a bordo de buques: Exposición laboral, confort acústico y control del ruido*. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/10076>



Gandia

- Lupidi, A., Staglianò, D., Martorella, M., & Berizzi, F. (2017). Fast Detection of Oil Spills and Ships Using SAR Images. *Remote Sensing 2017, Vol. 9, Page 230, 9(3), 230*. <https://doi.org/10.3390/RS9030230>
- Maza Ortega, J. M., & Gómez Expósito, A. (2019). *Sistemas de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2013). *Análisis de la potencialidad de las ayudas del IFOP y FEP Puerto pesquero de Gandía*. https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/fondos-europeos/Gandia_tcm30-73761.pdf
- Obarti Cerveró, Rosario., & Garcia i Sanz, Toni. (1992). *Peces comerciales del litoral valenciano*. Conselleria d'Agricultura i Pesca. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=32514>
- Ossandón, S. (1994). *Evaluación de Proyectos*.
- Proyectos Navales. (2021). *Propulsión híbrida diésel-eléctrica en barcos de recreo*. <https://proyectosnavales.com/2016/07/17/propulsion-hibrida-diesel-electrica-en-barcos-de-recreo/>
- Sagredo González, J., & Abad San Martín, V. (2014). *MOTORES SÍNCRONOS DE IMANES PERMANENTES PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS. EL TOYOTA PRIUS*. Dyna. <https://recyt.fecyt.es/index.php/DY/article/view/43040>
- Serrano Iribarnegaray, L., & Martínez Román, J. A. (2017). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/77750>
- Transfluid. (2021). *HYBRID & ELECTRIC TECHNOLOGY*. https://www.transfluid.eu/wp-content/uploads/2020/10/brochure-electrichybrid_gb_20.09_lq.pdf
- Trojan. (2021). *Batería de ion-litio Trojan Trillium*. <https://suministrosdelsol.com/es/baterias-solares/734-bateria-de-litio-trojan-trillium-256v-640wh-modelo-tr-256-25-li-ion.html>
- U.S. Department of energy. (2021). *Electric Vehicle Basics*. https://afdc.energy.gov/files/u/publication/electric_vehicles.pdf



Gandia

Anexos

Anexo A: Modelo de cálculo de la viabilidad económica

El estudio de la viabilidad económica pasa por el cálculo de indicadores económicos que muestran aspectos importantes a tener en cuenta para evaluar si quiere llevar a cabo un proyecto.

Flujo de caja: el flujo de caja consiste en calcular los ahorros y costes durante cada año de la vida del sistema, que se considera de 20 años.

Así pues, los datos de las tablas de gastos, ahorros e inversión inicial de cada caso se calcula el flujo de caja para cada año de la siguiente manera:

$$F(t) = a(t) - c(t) + F(t - 1)$$

Siendo:

- $a(t)$: es el ahorro económico en combustible
- $c(t)$: es la suma de costes a lo largo de un año.
- $F(t - 1)$: es el flujo de caja del anterior año. Se añade para ver si al final de ese año se consigue o no recuperar la inversión.

VAN: el VAN consiste en hallar los valores actuales de todos los costes de capital y de los ahorros netos (antes de depreciación¹⁶) que se generarán a lo largo de la vida del proyecto. Se calcula de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{i=1}^n a_{Ni}(ad) \cdot FD_i(Td) - \sum_{i=1}^N C_i \cdot FD_i(Td) - C_c$$

Donde:

- $a_{Ni}(ad)$: son los ahorros netos antes de la depreciación. En este caso se consideran también los ahorros relativos a dejar de usar los motores térmicos. Entonces los ahorros netos serán los relativos al consumo de gasoil y los ahorros en el mantenimiento.
- $FD_i(Td)$: es el factor de descuento (deflactor) para cada año, a lo largo de la vida útil de la instalación de 20 años (i). Su objetivo es reducir el valor de los ahorros que, en términos corrientes se vayan alcanzado en los años posteriores a la puesta en marcha del proyecto. Se calcula de la siguiente manera:

$$FD_i(Td) = \frac{1}{\left(1 + \frac{Td}{100}\right)^i}$$

¹⁶ La depreciación es la pérdida de valor que el producto (la barca) y todos sus componentes (motor, baterías, etc.) sufren con el pasar del tiempo. No obstante, para el cálculo del VAN no se tiene en cuenta pues se calcula para antes de la depreciación.



Gandia

Donde Td es la suma del IPC¹⁷ y la tasa de interés (I), que sirve de indicador para establecer la tasa de descuento. El valor del IPC (tasa de actualización monetaria) [-2,5] y de la tasa de interés se irá modificando [2%, 10%] para evaluar la viabilidad.

- C_i : es lo que tiene que devolver suponiendo que para financiar la inversión se ha pedido un préstamo a N años con un interés del 10% (I). Se supone una financiación del 100 % de la inversión inicial (C_{prest}) a 5 (N) años. En este caso, en el que se deben cambiar las baterías cada 2 años, para simplificar los cálculos a la inversión inicial se le añade el gasto de la compra del conjunto de las baterías que se harán a lo largo de la vida útil de la embarcación. Dicho esto, si la inversión inicial será C_{prest} , lo que se debe devolver cada año se calcula de la siguiente manera:

$$C_i = C_{prest} \frac{I (1 + I)^N}{(1 + I)^N - 1}$$

- C_c : es el capital inicial que no se ha financiado. En este caso se ha financiado toda la inversión inicial, por lo que es 0.

TIR: para el cálculo del TIR simplemente se hace que la ecuación del VAN sea igual a 0 variando el valor de la tasa de descuento (Td).

¹⁷ Índice de precios al consumo (IPC): es un índice económico en el que se valoran los precios de un conjunto de precios de los bienes y servicios básicos que consume la población residente en viviendas familiares. También se le conoce como “la cesta de la compra”. Si es positivo indica un incremento en los precios, y si es negativo una caída de los precios.



Gandia

Anexo B: Modelo de cálculo de la simulación de capacidad de baterías y motor eléctrico

La simulación para el cálculo de capacidad de baterías y motor eléctrico se basa en la metodología del balance de fuerzas

1) Planteamiento del balance de fuerzas

Para conseguir un correcto dimensionado, se plantea una forma alternativa de calcular la energía útil desde el punto de vista de las fuerzas que tiene que vencer la embarcación para avanzar. En primer lugar, se definen las fuerzas que intervienen en el balance. Por un lado, está la fuerza motriz (F_{motor}), que es la realizada por el sistema de propulsión que mueve la embarcación y, por otro lado, las fuerzas de arrastre de la embarcación al estar en contacto con el agua ($F_{D\ agua}$) y el aire ($F_{D\ viento}$). El resultado del balance provoca el movimiento de la embarcación ($m \cdot a$). De esta manera, el balance de fuerzas se define como la siguiente expresión:

$$F_{motor} - F_{D\ agua} - F_{D\ viento} = m \cdot a \quad (1)$$

La fuerza del arrastre del agua es la necesaria para vencer la resistencia que ésta opone en la dirección del flujo del avance de la embarcación debida a los efectos combinados de las fuerzas de fricción y presión. Dicha fuerza se define de la siguiente manera:

$$F_{D\ agua}(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D(t) \cdot A \cdot V(t)^2 \quad (2)$$

Donde:

- ρ : densidad del agua. Se considera una densidad de 1000 kg/m³, valor típico del agua dulce.
- $V(t)$: velocidad de la embarcación (m/s). No se tiene en cuenta la velocidad del agua, pues se trata de un lago y el agua está quieta.
- A : área mojada, representa la superficie del barco sumergida en el agua (m²).
- $C_D(t)$: coeficiente de resistencia al avance del barco al estar en contacto con el agua. Es la suma de los coeficientes de fricción y presión.

Para simplificar el cálculo de C_D se considera que la parte inferior de la barca es una placa plana lisa. Dicho coeficiente depende del número de Reynolds (Re).

Por otro lado, para el caso de un flujo paralelo sobre una placa plana lisa, el arrastre debido a la presión es nulo, por lo que el coeficiente de arrastre total es igual al de la fricción (C_f). Así pues, el coeficiente de arrastre se calcula de la siguiente manera:

$$C_f(t) = \frac{0,074}{Re_L(t)^{\frac{1}{5}}} - \frac{1740}{Re_L(t)} \quad 5 \cdot 10^5 \lesssim Re_L \lesssim 10^7 \quad (3)$$

El cálculo de Re se realizará para el extremo final de la embarcación, mediante la siguiente expresión:

$$Re_L(t) = \frac{V(t) \cdot L}{\nu} \quad (4)$$

Donde:

- L : eslora de la embarcación.
- ν : viscosidad cinemática del agua. Se supone un valor de $1,036 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.
- $V(t)$: velocidad de la embarcación (m/s).

A bajas velocidades casi todo el arrastre del agua corresponde a la fricción [12]. No obstante, para embarcaciones circulando a bajas velocidades la fuerza de fricción representa el 85% de la fuerza total. Así pues, la fuerza de arrastre total del agua es:

$$F_{T \text{ agua}}(t) = \frac{F_{D \text{ agua}}(t)}{0,85} \quad (5)$$

Por otro lado, la fuerza de arrastre del aire representa la fuerza necesaria para vencer la resistencia que opone el aire (viento) al avance de la embarcación. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_{D \text{ viento}}(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot (V(t) + V_{\text{viento}})^2 \quad (6)$$

Donde:

- ρ : densidad del aire, se asume un valor de $1,22 \text{ kg/m}^3$.
- $V(t)$: velocidad de la embarcación (m/s).
- V_{viento} : velocidad del viento (m/s).
- C_D : coeficiente de arrastre aerodinámico de la embarcación.
- A : proyección del área frontal de la embarcación (m^2).

El tercer término del balance es la resultante de las fuerzas motriz y de arrastre, que representa el movimiento y la fuerza de inercia de la embarcación. Se representa mediante la siguiente expresión:

$$F(t) = m \cdot a(t) \quad (7)$$

Donde:

- m : masa total de la embarcación. Es la suma de la masa de las personas y el peso de la embarcación, que es alrededor de 11,5 tn.
- $a(t)$: aceleración de la embarcación (m/s^2). Se calcula de la siguiente manera:

$$a(t) = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V(t) - V(t-1)}{1} \quad (8)$$

Por último, la fuerza motriz se calcula en función del resto de fuerzas, despejándola de la ecuación (1). De esta manera, resulta la siguiente expresión:

$$F_{\text{motor}}(t) = F_{T \text{ agua}}(t) + F_{D \text{ viento}}(t) + m \cdot a(t) \quad (9)$$

2) Correcciones en el procedimiento de cálculo

Durante la resolución del balance de fuerzas, en algunos instantes de cada trayecto se ha obtenido valores negativos de F_{motor} debido a los momentos en los que la velocidad disminuye. El valor negativo significa que el sistema de propulsión tiene la capacidad de almacenar energía, y esto no es posible pues no se dispone de ningún mecanismo de almacenamiento de energía.



Gandia

Por ello, cuando se reduce la velocidad ($a < 0$), la fuerza motriz que tiene que proporcionar el sistema de propulsión es solamente la necesaria para vencer las fuerzas de arrastre del agua y el viento. Así pues, para estos momentos, el balance de fuerzas a resolver es el siguiente:

$$F_{motor} = F_{T\ agua} + F_{D\ viento} \quad \text{si } a < 0 \quad (10)$$

Por otro lado, se ha detectado “ruido” en los datos de velocidad registrados *in situ*, durante los viajes, por la aplicación MATLAB Mobile Sensor Data. Ya que se registra que en un instante la embarcación está acelerando y al siguiente instante se registra que está desacelerando, mientras que la sensación a bordo es que la embarcación se desplaza a velocidad constante. Por ello, se decide aplicar el siguiente filtro sencillo de velocidades para suavizar las fluctuaciones:

$$V'(t) = \frac{V_{t+2} + V_{t+1} + V_t + V_{t-1} + V_{t-2}}{5} \quad (11)$$

De esta manera, en adelante la velocidad ($V(t)$) se entenderá como velocidad corregida ($V'(t)$) en el resto de las ecuaciones anteriores y posteriores.

3) Resolución del balance de fuerzas

La potencia motriz necesaria para mover la embarcación se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_{\acute{u}til}(t) = F_{motor}(t) \cdot V(t) \quad (12)$$

Si la embarcación es propulsada mediante un motor eléctrico, la potencia eléctrica necesaria se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$P(t) = \frac{P_{\acute{u}til}(t)}{\eta_{ME} \cdot \eta_{POT} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{PROP}} \quad (13)$$

De esta manera, además de la curva de velocidad, se obtiene una curva de potencia eléctrica, y así el rango de potencias trabajo del motor eléctrico. La energía eléctrica total demandada en el paseo turístico será el área encerrada por la curva de potencia eléctrica. Las baterías deben disponer de la capacidad suficiente para almacenar y dar la energía eléctrica demandada. Para calcularla se aplica el método de los trapecios, que en este caso consiste en la semisuma de las potencias del instante y el instante anterior.

Anexo C: Fichas técnicas

Ficha técnica y datos de interés del motor DriveMaster 20W EVO

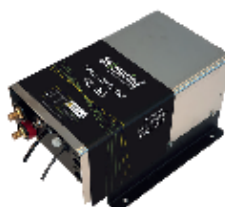


DriveMaster

Liquid Cooled

Including:

- Motor with mounting brackets and silent blocks
- Motor with integrated thrust bearing
- Vector control inverter IP65
- NMEA2000 compatible (Apply Transfluid)
- Main switch and main fuse
- DC-DC converter 12 Vdc
- 5m cable for display, lever, key
- Quick install / easy connect / plug and play
- Inlet and outlet liquid connections



PRODUCT CODE	DESCRIPTION	MOTOR SIZE	Medium & Heavy Duty		BATTERY Vdc	MOTOR rpm
			NOMINAL kw	INTERMITTENT kw		
BV101608W	DriveMaster 3W	180-4	2.5	3	48	1500
BV100854W	DriveMaster 7W	180-8	5	7	48	1500
BV100808W	DriveMaster 10W	180-12	8	10	48	1500
BV100810W	DriveMaster 15W	220-20	10	15	48	1500
BV101610W	DriveMaster 20W EVO	220-20 (+)	15	20	48	1500
BV100812W	DriveMaster 20W	220-20	15	20	96	1500
BV101288W	DriveMaster 30W	220-35	25	30	144	1500
BV101642W	DriveMaster 45W	300-50	35	45	144	1500
BV101580W	DriveMaster 55W	300-75	45	55	144	1500

(+) Special



* Complete the scope of supply by adding control throttle, display, cooling kit, coupling, shaft with propeller



Gandia

Ficha técnica del cargador Quattro 8000VA 48V 110+100A



Inversor/cargador Quattro

3kVA - 15kVA

compatible con baterías de Lítio-Ion

www.victronenergy.com



Quattro
48/5000/70-100/100



Quattro
48/15000/200-100/100

Dos entradas CA con conmutador de transferencia integrado

El Quattro puede conectarse a dos fuentes de alimentación CA independientes, por ejemplo a la toma de puerto o a un generador, o a dos generadores. Se conectará automáticamente a la fuente de alimentación activa.

Dos salidas CA

La salida principal dispone de la funcionalidad "no-break" (sin interrupción). El Quattro se encarga del suministro a las cargas conectadas en caso de apagón o de desconexión de la toma de puerto/generador. Esto ocurre tan rápidamente (menos de 20 milisegundos) que los ordenadores y demás equipos electrónicos continúan funcionando sin interrupción.

La segunda salida sólo está activa cuando una de las entradas del Quattro tiene alimentación CA. A esta salida se pueden conectar aparatos que no deberían descargar la batería, como un calentador de agua, por ejemplo.

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo

Hasta 6 unidades Quattro pueden funcionar en paralelo. Seis unidades 48/10000/140, por ejemplo, darán una potencia de salida de 48kW / 60kVA y una capacidad de carga de 840 amperios.

Capacidad de funcionamiento trifásico

Se pueden configurar tres unidades para salida trifásica. Pero eso no es todo: hasta 6 grupos de tres unidades pueden conectarse en paralelo para lograr una potencia del inversor de 144 kW/180 kVA y más de 2500 A de capacidad de carga.

PowerControl - En caso de potencia limitada del generador, de la toma de puerto o de la red

El Quattro es un cargador de baterías muy potente. Por lo tanto, usará mucha corriente del generador o de la toma de puerto (hasta 16 A por cada Quattro de 5 kVA a 230 VCA). Se puede establecer un límite de corriente para cada una de las entradas CA. Entonces, el Quattro tendrá en cuenta las demás cargas CA y utilizará la corriente sobrante para la carga de baterías, evitando así sobrecargar el generador o la red eléctrica.

PowerAssist - Refuerzo de la potencia del generador o de la toma de puerto

Esta función lleva el principio de PowerControl a otra dimensión, permitiendo que Quattro complemente la capacidad de la fuente alternativa. Cuando se requiera un pico de potencia durante un corto espacio de tiempo, como pasa a menudo, el Quattro compensará inmediatamente la posible falta de potencia de la corriente de la red o del generador con potencia de la batería. Cuando se reduce la carga, la potencia sobrante se utiliza para recargar la batería.

Energía solar: Potencia CA disponible incluso durante un apagón

El Quattro puede utilizarse en sistemas FV, conectados a la red eléctrica o no, y en otros sistemas eléctricos alternativos.

Hay disponible software de detección de falta de suministro.

Configuración del sistema

- En el caso de una aplicación autónoma, si ha de cambiarse la configuración, se puede hacer en cuestión de minutos mediante un procedimiento de configuración de los conmutadores DIP.
- Las aplicaciones en paralelo o trifásicas pueden configurarse con el software VE.Bus Quick Configure y VE.Bus System Configurator.
- Las aplicaciones no conectadas a la red, que interactúan con la red y de autoconsumo que impliquen inversores conectados a la red y/o cargadores solares MPPT pueden configurarse con Asistentes (software específico para aplicaciones concretas).

Seguimiento y control in situ

Hay varias opciones disponibles: Monitor de baterías, panel Multi Control, Color Control GX y otros dispositivos, smartphone o tableta (Bluetooth Smart), portátil u ordenador (USB o RS232).

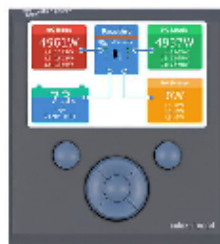
Seguimiento y control a distancia

Color Control GX y otros dispositivos.

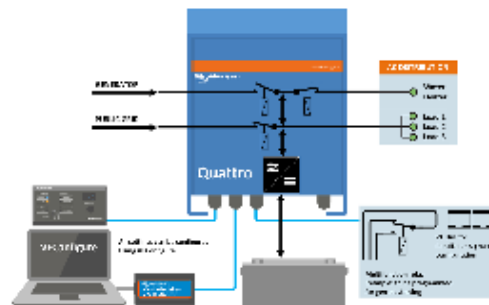
Los datos se pueden almacenar y mostrar gratuitamente en la web VRM (Victron Remote Management).

Configuración a distancia

Se puede acceder a los datos y cambiar los ajustes de los sistemas con Color Control GX y otros dispositivos si está conectado a Ethernet.



Color Control GX con una aplicación FV



Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/230-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	SI				
Commutador de transferencia integrado	SI				
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1				
Corriente máxima de alimentación (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida (1)	Tensión de salida: 230 VCA ± 2% Frecuencia: 50 Hz ± 0,1%				
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (2)	3000	5000	8000	10000	15000
Potencia cont. de salida a 25°C (W)	2400	4000	6500	8000	12000
Potencia cont. de salida a 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Potencia cont. de salida a 65°C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Pico de potencia (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Eficiencia máxima (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Consumo en vacío (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20
CARGADOR					
Tensión de carga de 'absorción' (VCC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Tensión de carga de 'floatación' (VCC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Modo de almacenamiento (VCC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Corriente de carga de la batería auxiliar (A) (4)	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Corriente de carga batería arranque (A)	4 (solo modelos de 12 y 24V)				
Sensor de temperatura de la batería	SI				
GENERAL					
Salida auxiliar (A) (5)	25	50	50	50	50
Relé programable (6)	3x	3x	3x	3x	3x
Protección (7)	a – q				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
Puerto de comunicaciones de uso general On/Off remoto	2x	2x	2x	2x	2x
Características comunes	Temp. de trabajo: -40 a +65 °C Humedad (sin condensador): máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Grado de protección IP 21				
Conexión a la batería	Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)				
Conexión 230 V CA	Bornes de tornillo de 13 mm ² 16 AWG	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6
Peso (kg)	19	34 / 30 / 30	45 / 41	51	72
Dimensiones (al x an x p en mm.)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280 444 x 328 x 240	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	572 x 488 x 344
NORMATIVAS					
Seguridad	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1				
Emisiones, inmunidad	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Vehículos de carretera	Modelos de 12 y 24V: ECE R10-4				
Antifisla	Visite nuestra página web				
1) Puede ajustarse a 60 Hz; 120 V 60 Hz si se solicita	3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1				
2) Claves de protección:	4) A 25 ° C de temperatura ambiente				
a) cortocircuito de salida	5) Se desconecta sin hay fuente CA externa disponible				
b) sobrecarga	6) Relé programable que puede configurarse, entre otros, como				
c) tensión de la batería demasiado alta	función de alarma general, subterfugio CC o arranque del generador				
d) tensión de la batería demasiado baja	Capacidad nominal CA 230 V/4 A				
e) temperatura demasiado alta	Capacidad nominal CC 4 A hasta 35 VCC, 1 A hasta 60 VCC				
f) 230 VCA en la salida del inversor					
g) oscilación de la tensión de entrada demasiado alta					



Panel Digital Multi Control
Una solución práctica y de bajo coste para el seguimiento remoto, con un selector giratorio con el que se pueden configurar los niveles de PowerControl y PowerAssist.



Mochila VE.Bus Smart
Mide la tensión y la temperatura de la batería y permite monitorizar y controlar Multis y Quattros con un smartphone u otro dispositivo con Bluetooth.



Funcionamiento y supervisión controlados por ordenador
Hay varias interfaces disponibles:



Color Control GX y otros dispositivos
Monitorizar y controlar, de forma local e remota, no [Portal VSM](#).



Interfaz MK3-USB VE.Bus a USB
Se conecta a un puerto USB (ver [Guía para el VEConfigure](#))



Interfaz VE.Bus a NMEA 2000
Liga o dispositivo a una red electrónica marítima NMEA2000. Consulte o [guía de integración NMEA2000 a MFD](#)



Monitor de baterías BMV-712 Smart
Utilice un smartphone u otro dispositivo con Bluetooth para:
- personalizar los ajustes,
- consultar todos los datos importantes en una sola pantalla,
- ver los datos del historial y actualizar el software conforme se vayan añadiendo nuevas funciones.



Accessories

Battery LiFePO4

Based on lithium iron phosphate cells (LiFePO₄), a technology that is safe and has the best performance/cost ratio, with integrated BMS to maintain the cells always equalized and efficient. Box is stainless steel IP65.

Long lifespan

- More than 4,000 cycles

The lifespan is 3 times longer than traditional batteries, making the cost per cycle lower. Maintenance-free, planned service is avoided, having no need of topping up or periodical checks. The conditions of the battery can be easily verified thanks to integrated diagnosis systems. No gas emissions during charge and discharge, so no special charging rooms are required. They may be charged at any place with maximum safety.

Suited for every application

Having no gas emissions, these batteries are suited also for marine and many industrial applications.

Apply Transfluid-Bellmarine for CAN-bus wires kit: 2m, 5m, 10m, 15m, 20m. (for battery and battery charger)

General Specifications

Capacity Ah	Contin. discharge A	Pulse discharge A	Continuous charge A	Pulse charge A	Operating Temperature °C	Box Material	Protection Class
100	100	200	50	100	0/60 (-20/60 optional)	SS316	IP65
200	200	400	100	200			
300	300	600	150	300			
400	400	800	200	400			
600	600	1200	300	600			
800	800	1600	400	800			

48V

Energy kWh	Architecture	Dimension Single Box *	Number Of Modules	Total Weight
10.3	Single Module	620x677 h352 mm	1	130 kg
20.5	2P	620x677 h352 mm	2 + MCR	267 kg
30.8	3P	620x677 h352 mm	3 + MCR	397 kg
41.0	4P	620x677 h352 mm	4 + MCR	527 kg

96V

Energy kWh	Architecture	Dimension Single Box *	Number Of Modules	Total Weight
9.6	Single Element	506x876 h293 mm	1	130 kg
19.2	Single Element	619x955 h352 mm	1	230 kg
28.8	3P	506x876 h293 mm	3 + MCR	394 kg
38.4	2P	619x955 h352 mm	2 + MCR	467 kg
57.6	3P	619x955 h352 mm	3 + MCR	697 kg
76.8	4P	619x955 h352 mm	4 + MCR	927 kg

144V

Energy kWh	Architecture	Dimension Single Box *	Number Of Modules	Total Weight
30.8	3S	620x677 h352 mm	3	390 kg
61.4	3S - 2P	620x677 h352 mm	6 + MCR	787 kg
92.2	3S - 3P	620x677 h352 mm	9 + MCR	1177 kg
122.9	3S - 4P	620x677 h352 mm	12 + MCR	1567 kg



MCR dimensions: 300x350x160 mm, weight: 7 kg

* Indicative dimensions. Ask for official drawing

• In case of Transfluid batteries choice, it is mandatory to install the control levers TFC and display TF1
• For 288 V and 384 V battery pack, contact Transfluid (with DNV-GL & NMA type approval)