



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

PROYECTO DE PLANIFICACIÓN DE LA ELECTRIFICACIÓN DE LA FLOTA DE BARCAS DE LA ALBUFERA

AUTOR: DANIEL SAMUEL BEJARANO CÁCERES

TUTOR: MANUEL ALCÁZAR ORTEGA

COTUTOR: DAVID RIBÓ PÉREZ

Curso Académico: 2018-19

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado de alguna u otra manera durante estos años de realización del grado. A mis amigos, compañeros, profesores y mis tutores del TFG que han hecho que estos años sean especiales, y en los cuales he aprendido y disfrutado mucho. A mi familia por su apoyo incondicional, y en especial a mi madre. Que con su ejemplo de vida me ha enseñado la importancia de trabajar duro, ser constante, seguir a Dios y disfrutar. Y agradecer a Dios por todos estos años y por darme la oportunidad de participar en un proyecto tan completo como este. Que combina los objetivos de mejora y conserva del ecosistema natural de la Albufera de Valencia y la transición eléctrica de las barcas, y así reducir las emisiones que contribuyen al calentamiento global.

RESUMEN

La integración de las fuentes de energías renovables juega un papel fundamental en el objetivo de tener un sistema energético español más sostenible. Y en dicha integración, la transición eléctrica y la electrificación del transporte son pilares importantes, pues la inmensa mayoría de fuentes renovables generan la energía en forma eléctrica.

Con ello, en el presente documento se va a realizar la planificación de la electrificación de la flota de barcas de la Albufera de Valencia. Concretamente, en las barcas de paseo turístico de El Palmar.

Se abordará el cálculo del dimensionamiento de las baterías, el motor y el proceso de carga, a partir de datos recopilados de la actividad laboral de los trabajadores. Se evaluarán los impactos de las barcas actuales con motor diésel sobre el ecosistema natural de la Albufera, así como los beneficios y la reducción en los impactos de la transición eléctrica.

Finalmente, teniendo en cuenta el aspecto técnico, económico y social, se evaluará si es mejor que las baterías eléctricas sean extraíbles, y así poder cargar desde los domicilios, o no ser extraíbles y habilitar una zona de recarga en el embarcadero municipal de El Palmar.

Palabras Clave: movilidad eléctrica; Albufera; eficiencia; medio ambiente; transición energética;

RESUM

La integració de les fonts d'energies renovables juga un paper fonamental en l'objectiu de tindre un sistema energètic espanyol més sostenible. En dita integració, la transició elèctrica i l'electrificació del transport són pilars importants, perquè la immensa majoria de fonts renovables generen l'energia en forma eléctrica

Amb això, en el present document es va a realitzar la planificació de l'electrificació de la flota de barques de l'Albufera de València. Concretament, en les barques de passeig turístic d'El Palmar.

S'abordarà el càlcul de dimensionament de les bateries, el motor i el procés de càrrega, a partir de dades recopilades de l'activitat laboral dels treballadors. S'avaluaran els impactes de les barques actuals amb motor dièsel sobre l'ecosistema natural de l'Albufera, així com els beneficis i la reducció en els impactes de la transició elèctrica.

Finalment, tenint en compte l'aspecte tècnic, econòmic i social, s'avaluarà si és millor que les bateries elèctriques siguin extraïbles, i així poder carregar des dels domicilis, o no ser extraïbles i habilitar una zona de recarrega en l'embarcador municipal d'El Palmar.

Paraules clau: mobilitat elèctrica; Albufera; eficiència; medi ambient; transició energètica;

ABSTRACT

The integration of renewable energy sources plays a fundamental role in the objective of having a more sustainable Spanish energy system. And in this integration, the electrical transition and the electrification of transport are important pillars, because most renewable sources generate energy in electrical form.

With this, in this document the planning of the electrification of the fleet of boats of the Albufera of Valencia will be carried out. Specifically, in the tourist boats of El Palmar.

The calculation of the sizing of the batteries, the engine and the charging process will be dealt with, based on data compiled from the workers' work activity. The impacts of the current diesel-powered boats on the Albufera's natural ecosystem will be evaluated, as well as the benefits and the reduction in the impacts of the electrical transition.

Finally, taking into account the technical, economic and social aspects, it will be evaluated whether it is better that the electric batteries to be removable, and thus be able to charge from home, or not be removable and enable a recharging area at the municipal pier of El Palmar.

Keywords: electrical mobility; Albufera; efficiency; environment; energy transition;

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- **MEMORIA**
- **PRESUPUESTO**
- **PLANOS**
- **ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Lista de figuras

Lista de tablas

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto de la Albufera de Valencia	1
1.2. Objetivo y alcance del TFG	2
1.3. Ejemplos de aplicación de barcas eléctricas en lagos	3
1.3.1. Lago de Sanabria	3
1.3.2. Lagos de Plitvice y lago de Esparron	4
CAPÍTULO 2. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	5
2.1. Valor del lugar	5
2.2. Impactos	8
2.2.1. Impactos físicos	8
2.2.1.1. Efecto de las olas.....	9
2.2.1.2. Turbiedad	10
2.2.1.3. Contacto directo del barco.....	11
2.2.1.4. Contaminación acústica	11
2.2.2. Impactos químicos	19
2.2.2.1. Contaminación atmosférica	19
2.2.2.2. Vertidos de combustible y contaminación química	20
2.2.3. Otros impactos	23
2.2.4. Resumen	23
2.3. Norma PAS 2050	25
CAPÍTULO 3. NECESIDADES ENERGÉTICAS	27
3.1. Registro de datos y utilidad	27
3.2. Datos recopilados	28
CAPÍTULO 4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS, EL MOTOR Y EL PROCESO DE CARGA	32
4.1. Selección del tipo de motor eléctrico y baterías	32
4.1.1. Características y tipos de tecnologías de motores eléctricos	32

4.1.2.	Características y tipos de tecnologías de las baterías	33
4.2.	Cálculo de la potencia del motor y la capacidad de las baterías	35
4.2.1.	Planteamiento de ecuaciones	35
4.2.2.	Resolución de las ecuaciones (1) y 2	38
4.2.3.	Balance de fuerzas	39
4.2.4.	Correcciones en el cálculo del balance de fuerzas	43
4.2.5.	Cálculo de la potencia del motor eléctrico y capacidad de las baterías	44
4.2.6.	Discusión de los resultados	46
4.2.7.	Selección del modelo de baterías, motor y controlador	47
4.3.	Vías para la recarga de las barcas	48
4.3.1.	Baterías extraíbles	48
4.3.2.	Baterías no extraíbles	49
4.3.2.1.	Legislación aplicable	49
4.3.2.2.	Modos de recarga.....	50
4.3.2.3.	Evaluación de la infraestructura de la distribución eléctrica	51
4.3.2.4.	Número de postes de carga a instalar.....	51
4.3.2.5.	Sistema de control y telemedida.....	53
4.3.2.6.	Potencia contratada y reglas a seguir para no sobrepasarla	53
4.3.2.7.	Esquema de la instalación eléctrica	54
4.3.3.	Resumen de las opciones de carga	56
CAPÍTULO 5. VIABILIDAD ECONÓMICA.....		57
5.1.	Introducción.....	57
5.2.	Inversión inicial.....	57
5.3.	Ahorro asociado en kWh, € y tCO ₂ asociado al combustible	58
5.4.	Cálculo de indicadores económicos	59
5.4.1.	Flujo de caja	59
5.4.2.	Valor actual neto (VAN).....	62
5.4.3.	Tasa interna de retorno (TIR)	63
5.5.	Conclusiones	63
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		65
6.1.	Introducción.....	65
6.2.	Viabilidad técnica	65
6.2.1.	Validez del modelo de cálculo y de los datos recopilados	66
6.2.2.	Dimensionamiento de las baterías	67
6.2.3.	Modos de carga	69
6.2.4.	Resumen de las opciones elegidas.....	70

6.3.	Beneficios de la transición eléctrica.....	72
6.4.	Previsiones de futuro del proyecto y alcance.....	72
1.	PRESUPUESTO DEL CASO DE APLICACIÓN	75
1.1.	Necesidad del presupuesto y contenido.....	75
1.2.	Presupuesto	75
2.	PLANOS DE LA INSTALACIÓN DE LOS POSTES DE CARGA EN EL EMBARCADERO MUNICIPAL DE EL PALMAR	78
2.1.	Organización de los planos.....	78
2.2.	Formato y presentación	78
	ANEXO A. TABLAS DE INTERÉS	82
1.1.	Introducción al anexo	82
1.2.	Presentación de las tablas de interés	82
	ANEXO B. CATÁLOGOS	85
2.1.	Introducción al anexo.....	85
2.2.	Fichas técnicas de los componentes de la propulsión eléctrica.	85
2.2.1.	Datos de interés de las baterías de ion-litio seleccionadas	85
2.2.2.	Ficha técnica de los postes de carga seleccionados.	86
2.2.3.	Ficha técnica y datos de interés del motor eléctrico y controlador seleccionados.....	88
2.2.4.	Datos de interés de los cargadores seleccionados.....	90
	BIBLIOGRAFIA	91

Lista de figuras

Figura 1. Pescadores tradicionales en la Albufera	2
Figura 2. Algodonosa y aladierno, respectivamente.....	6
Figura 3. Juncos y girad, respectivamente	6
Figura 4. Potamogeton sp y malva, respectivamente.....	7
Figura 5. Marjal de Sueca visto desde el Cabeçol	7
Figura 6. Ánade azulón y cormoranes, charranes y gaviotas reidoras, respectivamente	8
Figura 7. Marco conceptual de los efectos del ruido en las aves. Elaboración propia basada en (Francis & Barber, 2013).	13
Figura 8. Influencias e impactos de la navegación en los peces en un marco de tiempo. Elaboración propia basada en (Whitfield & Becker, 2014)	16
Figura 9. Representación de las mediciones de ruido del motor. Elaboración propia.	17
Figura 10. Mapa de calor de las barcas de paseo turístico de El Palmar. Elaboración propia....	18
Figura 11. Representación del campo de alcance del ruido a escala. Elaboración propia.	18
Figura 12. Vías de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en el medio acuático. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 2001).	22
Figura 13. Impactos de las actividades de navegación sobre las plantas acuáticas. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	23
Figura 14. Impactos de las actividades de navegación en los animales acuáticos. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	24
Figura 15. Resumen de los principales impactos físicos en los sistemas acuáticos por actividades de navegación a motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	24
Figura 16. Resumen de los principales impactos químicos y de metales pesados (en particular, plomo) en los sistemas acuáticos mediante navegación a motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	25
Figura 17. Resumen de los principales impactos biológicos en los sistemas acuáticos por actividades de navegación a motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	25
Figura 18. Recorrido de 10 viajes registrados.....	29
Figura 19. Velocidad registrada durante el trayecto.	30
Figura 20. Relación del consumo de gasoil con la velocidad de la embarcación.....	31
Figura 21. Cálculo de la energía útil de la combustión destinada al movimiento de la barca. Elaboración propia.	36
Figura 22. Cálculo de la energía útil de la batería destinada al movimiento de la embarcación. Elaboración propia.	38
Figura 23. Dimensiones de la barca y área mojada. Elaboración propia.	40
Figura 24. Ejemplo de curva de velocidad y potencia eléctrica.....	45
Figura 25. Instalación colectiva con un contador general y contadores secundarios para cada estación de recarga. Elaboración propia basada en el Reglamento de Baja Tensión.....	55
Figura 26. Conexión del vehículo eléctrico a la estación de recarga mediante un cable terminado en un conector: el cable forma parte de la instalación fija. Elaboración propia basada en el Reglamento de Baja Tensión.....	55
Figura 27. Flujo de caja a 10 y 15 años.	60
Figura 28. Flujo de caja a 10 y 15 años, considerando lo que se gastaría si se siguiera utilizando motor diésel.	61

Lista de tablas

Tabla 1. Niveles de recepción externos.	12
Tabla 2. Densidad de reproducción (pares/km de canal) de aves acuáticas inglesas en canales. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	14
Tabla 3. Desplazamiento de los peces luna macho en relación con la propulsión y velocidad de los barcos. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	15
Tabla 4. Mediciones del ruido durante el trayecto.....	16
Tabla 5. Datos promedio de la química del agua en tres estanques de control y en tres estanques de uso motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).	21
Tabla 6. Cantidad de trabajo de los barqueros en días normales y días con mucho trabajo.....	28
Tabla 7. Parámetros de los viajes registrados.	30
Tabla 8. Tabla comparativa de los diferentes tipos de baterías. Elaboración propia basada en (Peña Ordóñez, 2011; Santamarta, 2009).	34
Tabla 9. Resultados de los parámetros importantes mediante el balance de fuerzas.....	46
Tabla 10. Tiempos de recarga de las baterías dependiendo de las potencias de los postes.	51
Tabla 11. Tabla resumen de la cantidad de postes a instalar dependiendo de sus potencias...	52
Tabla 12. Discriminación horaria de las tarifas 3.0A.....	54
Tabla 13. Tabla resumen de los precios del sistema de propulsión eléctricos.....	58
Tabla 14. Ahorro energético, económico y en emisiones en un año por una barca.	59
Tabla 15. Comparativa de dimensionamiento de las baterías para 5 y 8 viajes.....	67
Tabla 16. Comparativa de los costes de los dos modos de carga.....	70
Tabla 17. Tabla comparativa del dimensionamiento de las baterías para días habituales y de temporada alta.....	70
Tabla 18. Comparativa de las ventajas y desventajas de que las baterías sean extraíbles o no lo sean.	71
Tabla 19. Ahorros en cada viaje debido a la transición eléctrica.....	72
Tabla 20. Resultados de las pruebas de velocidad/altura de las olas hechas por Tasmanian NPWS.....	82
Tabla 21. Límites de concentración de contaminantes en la atmosfera.	82
Tabla 22. Comparación de los postes de carga. Fuente: (CIRCUTOR, 2019c, 2019b, 2019a; INGEREV, 2019; Selba, 2019; Wallbox, 2019)	84
Tabla 23. Características de las baterías seleccionadas.....	85
Tabla 24. Características de los cargadores seleccionados.	90

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto de la Albufera de Valencia

El Parque Natural la Albufera está situado en la costa mediterránea, al sur de la ciudad de Valencia, España. Cuenta con una superficie de 21120 ha (Tortosa, Prósper, & Tortosa, 2009). La albufera de Valencia es una laguna (el lago más grande del país) costera poco profunda (profundidad media de 1 m) que cuenta con una extensión de casi 24 km². Se encuentra rodeada de 223 km² de arrozales (que es el área más extensa del parque). Pertenece a la cuenca hidrográfica del Júcar de 917,1 km², que se extiende hasta una altitud de 1000 metros sobre el nivel del mar. Está separada del mar por una estrecha barra litoral de bancos de arena con dunas estabilizadas por un bosque de pinos.

El territorio de la Albufera está comprendido por una gran cantidad de municipios. Municipios pertenecientes tanto a comarcas como *L'Horta* y *La Ribera*, así como a la *Ciudad de Valencia*. De entre estos municipios se encuentran el Saler, el Perelló, Catarroja, Silla, Algemesí, Sueca y Cullera, entre otros.

El clima en la Albufera es mediterráneo, con medias anuales¹ de humedad relativa del 65%, temperatura de 18 °C y unas precipitaciones de 454 mm (litros de agua por m² de superficie). La Albufera recibe aportaciones de agua mediante ramblas (Rambla del Poyo), barrancos (Barranco de Picassent, el *Barranco dels Algadins* que al pasar por Algemesí pierde la definición de su cauce y se convierte en acequia antes de verter en la Albufera), manantiales que surgen del fondo y alrededores de la laguna, acequias (Acequia Real del Júcar, que proporciona agua a la mayor parte de las huertas y arrozales situados alrededor de la Albufera, Acequia Madre de Sueca, entre otras) y sobre todo mediante los ríos Júcar y Túría (este en menor medida), que aportan la mayor parte del agua.

En cuanto a la vegetación (Generalitat Valenciana, 2019c), se puede encontrar la campanilla de mar (localizada mayoritariamente en las dunas), el pino carrasco (propio del bosque mediterráneo), cañas y aneas propias de acequias y canales, entre muchas otras especies de vegetaciones. De la fauna (Generalitat Valenciana, 2019a) se pueden destacar especies de peces en peligro de extinción como el *fartet* y el *samaruc*, la anguila y la lubina por su importancia económica, el pato colorado y la cuchara común por la cantidad de ejemplares que hay y la presencia de garzas, charrán común, cigüeña común, por la gran variedad de aves. Resalta la riqueza que hay en los manantiales que surgen del fondo y alrededores de la laguna, también conocidos como *ullals*. En ellos que se pueden hallar fauna autóctona de la Albufera y vegetación acuática de agua dulce que se conservan muy bien debido a las condiciones y debido también a que son la fuente principal de aguas limpias del lugar.

¹ Datos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología

Por otro lado, las actividades tradicionales como la caza, pesca y agricultura en la Albufera han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Actualmente, la caza solo se realiza en terrenos vedados en los municipios de Sueca, Silla y Cullera, entre finales de noviembre y principios de enero. La agricultura en La Albufera es prácticamente el arroz, que casi en su totalidad es de tipo redondo o bomba. La actividad pesquera consigue mantenerse gracias a especies como el mújol, anguila, lubina y lisa pese a la excesiva explotación y contaminación de las aguas. La pesca profesional en el lago solo está reservada a los usos tradicionales reconocidos por las Comunidades de Pescadores de Catarroja, El Palmar y Silla. La pesca deportiva con caña se permite en todo el ámbito acuático del Parque Natural excepto en las áreas de reserva y en el lago (con sus orillas, matas y aguas libres), siempre que se obtenga la licencia de pesca.

En el aspecto turístico, de la Albufera destaca la naturaleza, la posibilidad de hacer rutas y paseos en barca por el lago, entre otros. Los paseos turísticos en barca se dan sobre todo en los principales embarcaderos de municipales (Puerto de El Saler, Embarcadero de la Gola de Pujol, El Palmar y Puerto de Catarroja). Entre barcas de pesca y de paseo turístico están censadas alrededor de 1000.



Figura 1. Pescadores tradicionales en la Albufera

1.2. Objetivo y alcance del TFG

El objetivo del presente proyecto es la planificación de la electrificación de la flota de barcas de paseo turístico de la Albufera de Valencia, a petición de la Comunidad de pescadores de El Palmar.

El estudio comprende la evaluación de las necesidades energéticas mediante la monitorización de diferentes barcas de paseo turístico. Posteriormente se seleccionarán las mejores tecnologías para los componentes del nuevo sistema de propulsión eléctrico a proponer y con los datos registrados se dimensionarán los parámetros más relevantes de los componentes del sistema de propulsión eléctrico. Además, se evaluará la infraestructura de la distribución eléctrica asociada al estudio, los cambios en los impactos ambientales por la transición eléctrica de las

barcas y la viabilidad económica. Por último, se discutirán las ventajas y desventajas de la posibilidad de que las baterías eléctricas sean o no extraíbles desde el punto de vista técnico y social.

1.3. Ejemplos de aplicación de barcas eléctricas en lagos

A continuación, se muestran ejemplos de lagos (y espacios protegidos) en los cuales se han implementado barcas a motor eléctrico con el fin de favorecer una situación óptima ecológica para la conservación del ecosistema natural y adaptarse a los nuevos paradigmas de la movilidad en la actualidad.

1.3.1. Lago de Sanabria

El lago de Sanabria es un lago de origen glaciar y está localizado en una depresión del río Tera, en la cuenca hidrográfica del Duero, en la provincia de Zamora (España). A pesar de ser declarado Parque Natural y formar parte de la red Natura 2000 y ser catalogado como espacio LIC (Lugar de Importancia Comunitaria) y ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves) cada vez se notaba más el deterioro de las aguas. Por lo que, en los años de 2012 a 2015 se desarrolló un estudio del seguimiento de la evolución de este ecosistema con la ayuda de la Estación Biológica Internacional.

En los resultados del estudio se apreciaron incrementos en la coloración verdosa, turbidez, conductividad, pH, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes como el fósforo y amonio del agua. Todos estos cambios provocaron una transformación en el ecosistema del lago, desencadenando principalmente en la pérdida de biodiversidad (sobre todo algas e invertebrados que componían el fitoplancton y el zooplancton, respectivamente).

Los principales responsables de estos cambios, según el estudio (E.B.I. DueroDouro, 2019), eran la tecnología obsoleta y deteriorada del sistema de depuración de aguas residuales (que hacía que se vertieran al lago aguas sin un adecuado tratamiento), la existencia de puntos de vertidos directos y puntos esporádicos, y los vertidos de hidrocarburos accidentales que siempre hay (en mayor o menor medida, por parte de las barcas con motor térmico que circulaban por el lago) lo que hacían era enriquecen de nutrientes el agua provocando problemas de eutrofización.

Se llegó a la conclusión que, a pesar de la llegada de agua limpia de la cuenca alta del río Tera (y los microorganismos que aporta) y de la elevada tasa de renovación de agua en el lago, no se consigue eliminar o lavar el lago del exceso de nutrientes que llegan a él ya que tienden a acumularse.

Por todo ello, en 2018 se dieron los primeros pasos para prohibir el uso de barcas con motor de combustión en favor de los eléctricos (J. A. García, 2018) y mejorar el sistema de depuración de aguas residuales. Por otro lado, en el lago se presume de disponer del barco Helios (barco eólico-solar con cero emisiones, cero efluentes, 100% energético, energía solar y cero sonidos) que se dedica a hacer a hacer visitas turísticas por el lago.

1.3.2. Lagos de Plitvice y lago de Esparron

De manera similar al lago de Sanabria, en los lagos de Plitvice (Croacia) se tuvieron problemas de eutrofización por los mismos motivos (Mužinić & Filipović, 2006). Por ello también se prohibió la navegación con motor de combustión en favor de los eléctricos y se equiparon con 7 barcos eléctricos para hacer cruceros por el lago.

De la misma manera, se presentaron los mismos problemas en el lago de Esparron (Francia) (Grégoire, 1983), lago artificial formado por la construcción de una presa. Por ello también se prohibieron las embarcaciones a motor de combustión y se pusieron a disposición del público barcas eléctricas para dar paseos (La Provenza, 2019).

Por estas razones, se quiere hacer algo similar con la Albufera de Valencia, ya que los problemas que tiene son similares a los que han tenido en estos lugares. Además de reducir, y en algunos casos eliminar, los impactos ambientales debidos al funcionamiento de las barcas propulsadas por motor térmicos. También se quiere llevar a cabo la transición eléctrica para adaptarse a los nuevos paradigmas de la movilidad eléctrica actual.

CAPÍTULO 2. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

A continuación, se presentarán los impactos sobre el medioambiente que produce la utilización de barcos con motor térmico. En primer lugar, se hablará del valor que tiene el Parque Natural de la Albufera, para posteriormente describir los impactos físicos, químicos y otros que tienen los barcos con motor térmico, y las reducciones de emisiones de gases contaminantes debido a la transición eléctrica.

2.1. Valor del lugar

La laguna de la Albufera está situada a poco más de 10 km de la ciudad de Valencia, y es la más grande de todo el país. Representa el ecosistema perfecto para el hábitat de una gran variedad de especies animales y plantas. En el año 1986 fue declarado Parque Natural, en 1989 reconocido como 'Humedal de importancia internacional', en 1990 declarado como "Zona de especial protección de las Aves" (ZEPA) y algunas zonas del parque natural han sido declaradas como "Microrreserva de Flora" y como "Reserva de Fauna". Además, forma parte de la red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad Natura 2000², que es la principal herramienta para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea.

El cambio climático y la contaminación, entre otros factores, representan el principal reto para la supervivencia del Parque Natural. En él se pueden encontrar más de 800 especies de plantas (Generalitat Valenciana, 2019b), sin contar con arbustos y árboles, y más de 350³ especies de aves, además de peces y anfibios, mamíferos, reptiles, etc. Debido a que el cultivo de arroz y la laguna son las que mayor área ocupan en el parque natural, el resto de vegetación y fauna se concentra en las dunas, acequias, manantiales naturales de agua dulce y la restinga que separa la laguna del mar, especialmente en la Devesa.

La Devesa es un bosque mediterráneo que separa el lago de la Albufera del mar. Está compuesto por pinos carrasco con matas y arbustos, compuestos principalmente por palmitos, aladierno, estepa negra coscoja, entre otros. En las depresiones de la Devesa se presenta una vegetación compuesta por carrizos, que eventualmente se inundan entre otoño y primavera.

También hay dunas, que son substratos arenosos y pueden ser fijas o móviles. Las plantas que consiguen adaptarse deben sobrevivir en condiciones difíciles de viento y sequedad. Además, en las dunas móviles se soportan condiciones extremas, que van desde la poca disponibilidad y retención del agua, terreno inestable y llegando en verano a temperaturas elevadas en la superficie arenosa y el viento abrasivo del mar. Por ello, éste es el hábitat de pequeñas plantas como la *algodonosa* y la *zanahoria bastarda*, entre otras, que han conseguido adaptarse. En las

² <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protectidos/red-natura-2000/>

³ Datos del Servicio de la Biodiversidad. <http://www.bdb.gva.es/va/>

dunas fijas se encuentra mayor diversidad y robustez de especies debido a que las condiciones son más favorables y a que son las más antiguas. Por su parte, ahí se pueden encontrar desde arbustos como el *aladierno*⁴ y el *jaguarzo morisco* hasta árboles como el *pino carrasco*, entre otros.



Figura 2. Algodonosa y aladierno, respectivamente.

En la depresión de la Devesa se encuentran las *malladas*, lugar donde habita la vegetación salada y situadas entre las dunas. La salinidad se debe a que la mayor parte de las aguas subterráneas de la Devesa provienen del mar. Debido a esto, dependiendo de la salinidad, se instalan especies diferentes en función de sus capacidades de adaptación. En aquellas zonas con poca salinidad se hallan *juncos*, *pastizales* e incluso plantas en peligro de extinción como el *Girard*, entre otras. En aquellas zonas con gran concentración de sal se pueden encontrar plantas como la *cirialera* y el *llantén de hojas crasas*, entre otras.



Figura 3. Juncos y girad, respectivamente

En los *ullals* (manantiales naturales de agua dulce), en algunas acequias y algunos puntos de la Albufera cerca de los humedales se encuentran las aguas son de mayor calidad y en las cuales habitan las vegetaciones acuáticas sumergidas y flotantes. De entre las especies sumergidas destacan las *Potamogeton sp.*⁵ y *Myriophyllum sp.* y el *nenúfar*. Por su parte, las vegetaciones acuáticas palustres (raíces sumergidas, pero tallos, hojas y buena parte de ellas emergidas) tienen una gran diversidad e importancia en la Albufera. Entre las que se puede destacar el *carrizo*, la *enea* y en menor cantidad la *malva acuática* y que forman el cinturón de la Albufera y sus islas, conocidas como *matas*.

⁴ <http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/flora-y-vegetacion>

⁵ La imagen de la izquierda de la figura 4, que es una especie *Potamogeton sp.*, está sacada de la siguiente página web: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PotamogetonNatans1.jpg>



Figura 4. Potamogeton sp y malva, respectivamente

El territorio rocoso del Parque Natural solo se ve representado en la *Muntanyeta dels Sants* en Sueca, *El Cabeçol* y la *Muntanya de les Raboses* en Cullera. En los afloramientos calcáreos de estos lugares se encuentran las plantas rupícolas. Estos afloramientos han sido profundamente alterados por el hombre (el Cabeçol además ha sufrido reiterados incendios) ya que, según diversas asociaciones y comunidades de la zona, la vegetación potencial del lugar debería ser un bosque maduro de carrasca con lentisco y coscoja, y en lugar de ello se tienen pastizales, maquias frondosas, pinadas y plantas aromáticas en las solanas y especies rupícolas como el *espino negro de roca*.



Figura 5. Marjal de Sueca visto desde el Cabeçol⁶

Por otro lado, como se ha dicho anteriormente, 350 especies de aves utilizan el ecosistema, de las cuales de 240 a 250 son habituales cada año, e incluso 90 son las que se reproducen en el Parque Natural. Durante el invierno es cuando se pueden observar un mayor número de aves. Sobre todo, gaviotas y garzas (como las anátidas, limícolas, la garceta grande), el pato colorado, el ánade azulón, entre muchas otras aves.

No obstante, es durante la crianza cuando el Parque Natural toma verdadera importancia. En las *matas* las colonias de *garzas* y *ardeidas* ubican sus nidos. En conjunto pueden superar las 6000 parejas, siendo la más abundante la garcilla bueyera. Cabe destacar también que hay más de 5000 parejas nidificantes habituales de charrán común, *gaviota cabecinegra*, entre otras, y que entre los patos el principal nidificante es el *ánade azulón*⁷. Además, la *certeta pardilla* está catalogada en peligro de extinción, con entre 2 y 4 parejas al año. Y también, para las colonias

⁶ <http://ausdelalbufera.blogspot.com/2014/04/el-cabecol-y-la-bassa-de-sant-llorens.html>

⁷ <http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/fauna-3817>

de gaviotas⁸ y limícolas, en las costas del Mediterráneo de la península ibérica, el Parque Natural es de vital importancia.

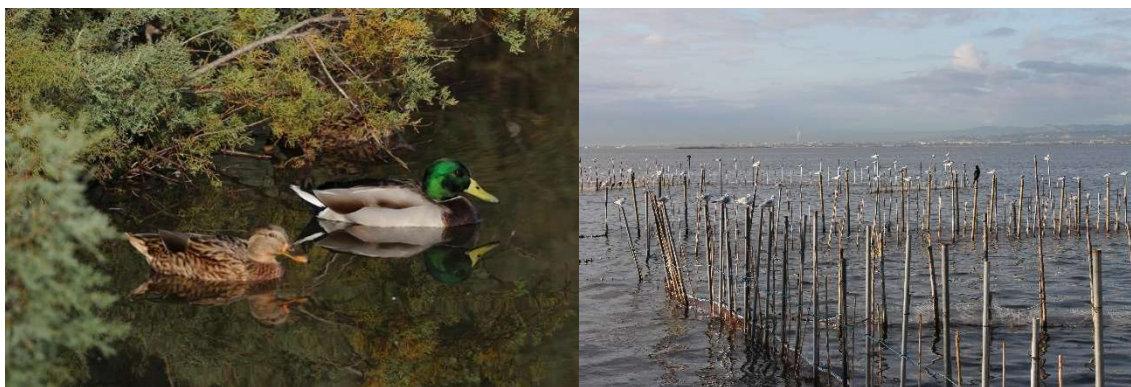


Figura 6. Ánade azulón y cormoranes, charranes y gaviotas reidoras, respectivamente

En todo lo anterior se puede apreciar la importancia del Parque Natural de la Albufera, uno de los principales humedales de la costa mediterránea, y por ello se deben tomar las medidas necesarias para asegurarse que se encuentre en una situación óptima ecológica para la conservación del ecosistema natural. Cabe destacar que uno de los mayores problemas que afronta la Albufera es que cada vez recibe menos agua de su principal suministrador, el río Júcar, y que aún sigue recibiendo agua residual de origen humano e industrial sin tratar pese a la construcción de diversas depuradoras alrededor del parque natural. Esto hace que las renovaciones anuales de agua no sean las recomendadas⁹, que la profundidad del lago cada vez sea menor y que se produzcan obstrucciones de los manantiales naturales de agua dulce por parte de los PAH sedimentados¹⁰. Estos problemas pueden afectar tanto a peces como a mamíferos y pájaros, como se verá más adelante.

2.2. Impactos

Como es sabido, el uso del MCIA (Motor de Combustión Interna Alternativo) en la sociedad tiene como consecuencia una serie de impactos sobre el medioambiente. En este caso, se analizarán los impactos sobre el Parque Natural de la Albufera del funcionamiento de las barcas propulsadas por motor térmicos y los beneficios asociados de la transición de barcas con motores accionados por energía eléctrica.

2.2.1. Impactos físicos

Entre los impactos físicos se pueden encontrar los más intuitivos como el ruido, la turbiedad de las aguas por el remover de los sedimentos y el contacto directo de las hélices del motor con la

⁸ En la imagen de la derecha de la figura 6 se muestran gaviotas, cormoranes y charranes. La imagen está sacada del siguiente enlace: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Aves_Albufera_de_Valencia.JPG

⁹ <https://www.iagua.es/noticias/espana/seobirdlife/17/05/29/albufera-valencia-sigue-recuperarse-pese-casi-30-anos-siendo>

¹⁰ <https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2012/06/18/enemigo-lalbufera/913916.html>

fauna y flora acuática, y el impacto de las olas producidas por el movimiento de las barcas que puede erosionar las plantas que estén en la orilla.

2.2.1.1. Efecto de las olas

El paso de las barcas por un punto dado produce un aumento en el nivel del agua en la orilla, seguido de una caída repentina y, finalmente, una serie de olas cada vez más pequeñas hasta desaparecer. La acción e impacto de las olas es complejo y depende de una serie de variables como la forma de la barca (cuyo diseño está hecho para no generar muchas olas cuando van a velocidad de operación), el tamaño y la velocidad a la que circula (Liddle & Scorgie, 1980; Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, 1995), distancia con la orilla y el tipo y consistencia de la orilla (Garrad, PN y Hey, 1988).

En un estudio (Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, 1995) se detalló que las plantas acuáticas se dañan a través de las acciones de desarraigo, arrastre y rasgado de las olas, y se consideró como uno de los principales factores que determinan el crecimiento y distribución de las plantas acuáticas (VERMAAT & BRUYNE, 1993). La presencia de cañas y de otras plantas con raíces profundas y estables, reducen el impacto pudiendo actuar como “rompeolas” reduciendo la fuerza de las misma (Garrad, PN y Hey, 1988). Por otro lado, algunas de las aves, como las garzas y las ardeidas, durante la época de cría ubican sus nidos en las matas (formada por plantas flotantes y palustres) (Valenciana, 2008) y que están expuestas al impacto directo de las olas si no se toman las medidas necesarias para evitarlo.

Relativo a esto, se realizaron una serie de pruebas de velocidad en el río Gordon (Australia) para determinar la relación entre la velocidad, la altura de las olas y la erosión de los bancos (Cook, 1985; Fleit et al., 2016). Algunos de los resultados se reflejan en la siguiente tabla 20 del ANEXO 1, donde se muestra que la reducción de la velocidad disminuye la altura de las olas y por tanto la ralentización del proceso de erosión en la orilla.

Como se ha dicho antes debido al diseño de las barcas no se generan muchas olas, no obstante, en cuerpos de agua pequeños y con movimientos bruscos de slalom las olas creadas sí podrían suponer problemas considerables, como la erosión de los bancos (HODGES, 1991) . De la misma manera, se realizó otro estudio (Williamson, J and Kite, J and Henderson, P and Bishaw, 1989) acerca de los impactos sobre una presa de suministro para riego en el que no se apreció ningún daño atribuible a la actividad de navegación. Por otro lado, en las vías navegables de los arroyos de Broadland (Inglaterra) se observó un ensanchamiento del canal atribuible exclusivamente a la actividad de navegación, por ello se aconsejó reducir la velocidad de navegación límite (Garrad, PN y Hey, 1988). Finalmente, se puede llegar a la conclusión que si se toman las medidas necesarias, las actividades de navegación no tienen por qué suponer problemas de erosión (HODGES, 1991).

Por todo ello, teniendo en cuenta que hay alrededor de 1000 barcas censadas y que el lago de la Albufera de Valencia cuenta actualmente con 2800 ha, se tiene una densidad de 0,36 barcas/ha. Densidad que supera el límite aconsejable¹¹ de 0,1 a 0,05 barca/ha para espacios protegidos, aunque se sabe que no todas esas 1000 barcas censadas se usan diariamente, sino en un momento puntual (por ejemplo, semana santa). En cuanto a la velocidad normal a la que suelen circular las barcas, según palabras del presidente de la comunidad de pescadores de El

¹¹ Florida Department of Environmental Protection, Division of Recreation and Parks (2005). <https://floridadep.gov/parks>

Palmar, no superan los 15-20 km/h debido en gran parte a la poca profundidad del lago que no da mucho calado¹² a las barcas y en el caso de barcas de paseo turístico suelen ir a velocidad constante cercana y constante a 7 km/h. Con dichas velocidades y según la tabla 20, las olas no deben superar la altura de 15 cm por lo que se puede decir que los efectos de las olas no son significativos.

2.2.1.2. Turbiedad

La turbidez del agua se debe, entre otras cosas, a la perturbación mecánica causada por el movimiento de las hélices de las barcas a motor en el agua que provoca la resuspensión de sedimentos del fondo (Moss, 1977). Especialmente en aguas poco profundas, que pueden llegar a reducir la productividad de un cuerpo de agua (lagos, albuferas, ríos, etc.) (Kirk, 1985). Incluso en los lagos y ríos pequeños, la actividad de las embarcaciones son probablemente la principal fuente de resuspensión de los sedimentos.

En un estudio (Hilton & Phillips, 1982) del efecto de las actividades de las embarcaciones en un río inglés poco profundo, se señaló que estas actividades son la principal fuente de la resuspensión de sedimentos de lecho y que esto puede afectar al crecimiento de plantas acuáticas sumergidas. Afecta a la fotosíntesis de las aguas acuáticas sumergidas porque, al reducir la penetración de la radiación solar en el agua, la radiación solar solo pasa a través de la dispersión y absorción de fotones solares, cambiando de esta manera la productividad de un cuerpo de agua (Kirk, 1985; Murphy & Eaton, 1983). No obstante, la turbidez del agua volvió a la normalidad 5 horas y media después de que las actividades de las embarcaciones hubieron parado.

En general, el impacto es solamente temporal y desaparece en un corto espacio de tiempo (Horsfall, Louise and Jelinek, Ann and Timms, 1988; Williamson, J and Kite, J and Henderson, P and Bishaw, 1989). En un estudio (Moss, 1977) realizado en los humedales de Norfolk Broads se llegó a la conclusión que los sedimentos se hundirían de nuevo en el fondo con cierta rapidez. En otro (Jackivicz & Kuzminski, 1973) se comparó la turbidez de dos estanques, uno afectado por la actividad de motores externos y otro un estanque de control. La turbidez del primer estanque no se vio afectado en gran medida por los motores externos en comparación con el segundo estanque, incluso cuando éstos funcionaron por largo tiempo. Sin embargo, también se afirmó que la turbidez se vería afectada si los sedimentos contienen arcilla (Liddle & Scorgie, 1980), ya que pueden permanecer en suspensión días e incluso semanas (Kirk, 1985).

Por otro lado, se ha observado que la turbidez del agua llega a afectar tanto a peces como a invertebrados acuáticos (Whitfield & Becker, 2014). Por ejemplo, las branquias de los peces e insectos acuáticos como la mosca de las mariposas y la mosca de las piedras pueden obstruirse por acumulación de limo (tipo de barro mezclado con restos orgánicos). Además, que las aves acuáticas también se ven afectadas ya que pierden visibilidad por la turbidez del agua y la reducción del número de invertebrados acuáticos y plantas.

Además, la resuspensión de sedimentos puede provocar el enriquecimiento de nutrientes y otros contaminantes si estos están contenidos en los sedimentos (Kuss, Fred R y Graefe, Alan R y Vaske, 1990; Liddle & Scorgie, 1980; Munawar, Norwood, & McCarthy, 1991), que se llegan a mezclar con el agua. Por ejemplo, el fosfato es el contaminante que limita el crecimiento de las

¹² El calado es la distancia de un punto de la línea de flotación y la línea base, incluido el espesor del casco del barco.

plantas en cuerpos de agua dulce y generalmente está relacionado con los sedimentos (Mann, Hammitt, & Cole, 2007). Por ello, el enriquecimiento de nutrientes puede llevar a la multiplicación en número rápida de tipos fitoplancton y algas (W., 1985). En lagos poco profundos se observó (Yousef, McLellon, & Zebuth, 1980) que los cambios en contenido de fósforo estaban estrechamente relacionados con la resuspensión de sedimentos, provocado por actividades acuáticas a motor. En lagos más profundos la relación entre el fosforo y las actividades acuáticas a motor no son tan concluyentes (Yousef et al., 1980).

Otras de las fuentes de enriquecimiento de nutrientes en la Albufera de Valencia son la recepción de aguas residuales de origen humano e industrial sin tratar, fertilizantes nitrogenados para abonar los cultivos, excrementos de animales (en menor medida), entre otros, que llegan a provocar problemas de eutrofización. El exceso de nutrientes lo que hace es que cierto tipo de plantas como los fitoplancton y algas crezcan en abundancia, de manera que consumen gran cantidad del oxígeno disuelto del agua y aportando mal olor y materia orgánica en abundancia¹³.

La Albufera de Valencia es un ejemplo de cuerpo de agua poco profundo (profundidad media de 1 metro), por lo que en ella la acción de las hélices se prevén que sean de las principales fuentes de resuspensión de sedimentos de lecho (McKenzie, 1986). No obstante, como se ha dicho anteriormente, en la Albufera de Valencia no se superan los 20 km/h debido a la falta de calado, por lo que las barcas a motor no resultan en un aumento significativo en la turbulencia y turbidez de las aguas. Por otro lado, la electrificación de las barcas no ayudaría directamente a reducir la turbidez ya que también se tiene movimiento de las hélices. No obstante, ayudaría a eliminar los vertidos y fugas de combustible que hay por parte de los motores de combustión ya que pasarían a utilizar energía eléctrica para el funcionamiento y mejoraría la calidad de las aguas, como se verá más adelante.

2.2.1.3. Contacto directo del barco

En relación con el impacto anterior, el movimiento de las hélices de las barcas, además de la resuspensión de sedimentos, puede producir daños físicos (cortes, roturas y arrancamientos) en las plantas acuáticas (especialmente en las que forman esteras) y organismos que habitan en el fondo de los sistemas acuáticos como afirman diversos estudios (Jahrsdoerfer & Leslie, 1988; Liddle & Scorgie, 1980; R, 1979; Royal Australian Institute of Parks and Recreation. & Geering, 1985), especialmente en cuerpos de agua poco profundos. En relación con esto, se observó que en los lugares de mayor densidad de actividades de navegación habían menos macrófitos¹⁴ acuáticos (cosa que favorece el crecimiento de las plantas sumergidas (Murphy & Eaton, 1983)), peces con cicatrices (rara vez pasa) (Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, 1995), descenso en número de invertebrados acuáticos (ya sea por colisiones o haber sido removidos por las turbulencias en el agua) (Jackivicz & Kuzminski, 1973), entre otros.

2.2.1.4. Contaminación acústica

El ruido provocado por las hélices (fricción entre el vehículo y el agua) y el motor de las barcas produce contaminación acústica sobre el ecosistema del Parque Natural. De manera que impide o dificulta al animal receptor la comunicación entre miembros de su misma especie, además de

¹³ <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>

¹⁴ Son plantas acuáticas, sobre todo referido a las flotantes.

la pérdida de sensibilidad de sonidos que les permita vivir (como el instinto de caza). Por otro lado, los niveles de contaminación (Casanova, 2019) de un sonido particular y su impacto morfológico y fisiológico dependen del tiempo de exposición y de la intensidad de la señal recibida.

Las principales fuentes de contaminación acústica en la Albufera son, en gran medida, el tráfico que pasa por la autopista de El Saler (V-15) que atraviesa el Parque Natural de norte a sur. Mientras que en las zonas acuáticas son las barcas de pesca y paseo turístico que usan MCI de gasolina, además de otras actividades que se puedan realizar en el Parque Natural. En el lago, concretamente, las barcas cobran especial importancia en la contaminación acústica.

Por otro lado, las Cortes Valencianas aprobaron la ley 7/2002¹⁵, de 3 de diciembre, de protección contra la contaminación acústica con el objetivo de “prevenir, vigilar y corregir la contaminación acústica en el ámbito de la Comunidad Valenciana para proteger la salud de sus ciudadanos y mejorar la calidad de su medio ambiente”. En el artículo 12 se establecen los niveles sonoros límites en el ambiente exterior, límites expresados como nivel sonoro continuo equivalente $L_{A,eq,T}$, que en función del uso dominante de cada zona se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Niveles de recepción externos.

Uso dominante	Nivel sonoro dB(A)	
	Día	Noche
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60

Como se dicta en el artículo 12 en aquellos casos en que la zona de ubicación de la actividad o instalación no corresponda a ninguna de las establecidas en dicha tabla, se aplicará la más próxima por razones de analogía funcional o equivalente necesidad de protección acústica. En el caso de un espacio protegido como el Parque Natural de la Albufera se puede asemejar al ámbito residencial (de 55 dB(A) de día y de 45 dB(A) de noche). No obstante, en la práctica casi todas las zonas de la ciudad incumplen la normativa de límites de emisiones de ruido de 55 dB, debido mayoritariamente al tráfico, como se puede ver en el mapa de ruido¹⁶ elaborado por el ayuntamiento de Valencia.

Por otro lado, los vehículos tienen como nivel máximo de emisión sonora el valor que se encuentre en la ficha de homologación más 4 dB. En el caso de ser un vehículo antiguo y que en la ficha de homologación no se indica el nivel máximo para el caso de ciclomotores se adoptará el valor límite de 91 dB, y para el resto de los vehículos, la ITV deberá comprobar que el vehículo se encuentra en perfecto estado para realizar el ensayo sonoro y obtener el nivel de emisión sonora que se fijará en la ficha del vehículo.

Para medir el ruido se utilizan los dos parámetros con los que se mide el sonido (Sandra. Beltone, 2019): frecuencia e intensidad. La frecuencia se mide en hercios e indica los tonos del sonido, de graves a agudos. La intensidad se mide en decibelios (dB); el oído de los humanos se mueve de 0 dB hasta 120 dB. Por lo general, los peces y las aves detectan mejor los sonidos en un rango

¹⁵ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-613>

¹⁶ <https://geoportal.valencia.es/MapaRuido/>

de entre 0,03-1 kHz¹⁷ y 1-5 kHz¹⁸ de frecuencia, respectivamente. El rango de frecuencias dentro del cual las aves se comunican varía dependiendo de la calidad del hábitat y los sonidos del ambiente.

Los posibles efectos que la contaminación acústica puede tener sobre las aves y los peces son:

- El ruido en las aves puede interferir en la detección de otras señales (perturbación-interferencia), a veces percibidos como amenazas y/o pudiendo provocar cambios de comportamiento que pueden tener consecuencias en el estado físico a través de una respuesta de estrés fisiológico (funcionamiento de un ser vivo) (Francis & Barber, 2013). Si los daños se hacen crónicos, es probable que dejen de percibir ciertos sonidos o se superpongan con otras señales importantes como la comunicación, orientación y detección de depredadores-presas. En la figura 7 se muestra un marco conceptual de los efectos del ruido en las aves.

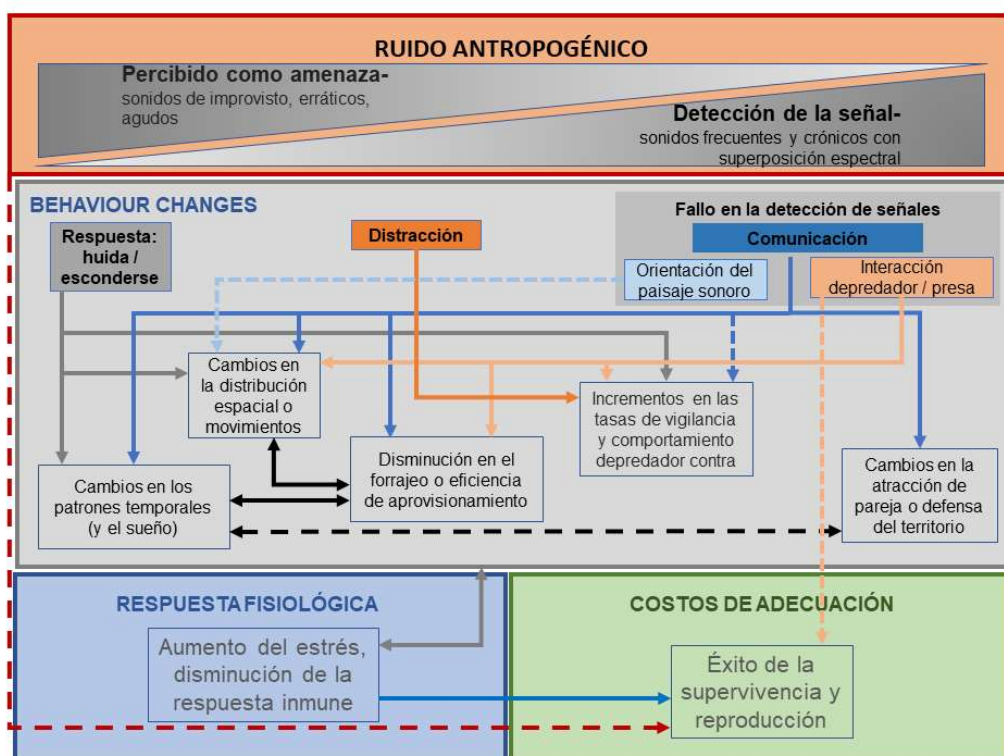


Figura 7. Marco conceptual de los efectos del ruido en las aves. Elaboración propia basada en (Francis & Barber, 2013).

Una de las consecuencias del ruido en las aves en un momento puntual podría ser la disminución de la población de éstos, ya que puede afectar, entre otras cosas, a las acciones de seducción entre macho y hembra (Javier Silva Herrera, 2019), modificar el comportamiento relativo a la crianza, comunicación y comportamiento de aves de diferentes especies y el comportamiento a la hora de defender territorios.

Por otro lado, la contaminación acústica puede tener efectos en cascada sobre un ecosistema. Se detectó¹⁹ como algunos ruidos llegan a atemorizar a especies que

¹⁷ <https://www.elmundo.es/elmundo/2010/06/25/ciencia/1277486680.html>

¹⁸ <https://timbradospaniagua.blogspot.com/2008/10/conceptos-el-oido-de-las-aves.html>

¹⁹ <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20170505/422290644428/contaminacion-acustica-efectos-especies-ecosistemas.html>

cumplen la función dispersión de las semillas. Por tanto, las semillas se dispersan menos y por ende el ruido afecta a la reproducción de los pinos ya que hay menos pájaros. Y, además, favorece a los roedores que se alimentan de estas semillas y quedan menos (por lo que quedan menos reproducción de pinos aún).

Por otro lado, se ha demostrado (Horsfall, Louise and Jelinek, Ann and Timms, 1988) que los efectos de la perturbación por las actividades de navegación sobre las aves son de corta duración (Samson, 1985; Ward, D and Andrews, 1993) si la perturbación es puntual ya que se refugian en alrededores hasta que la perturbación cesa. En el caso de las aves del río Mississippi (Havera, Boens, & Shealy, 2006), hasta el 78,5 % de todas las perturbaciones que reciben las aves se pueden atribuir a las actividades de navegación. Por tanto, se puede llegar a la conclusión (Mosisch & Arthington, 1998) que en zonas donde la navegación a motor es habitual las aves se acaban trasladándose hacia zonas de mayor tranquilidad, mientras que si son solo puntuales las aves se alejan por poco tiempo y luego vuelven. En la siguiente tabla se muestra la densidad de reproducción de aves acuáticas inglesas en varios canales con diferentes actividades de navegación.

Tabla 2. Densidad de reproducción (pares/km de canal) de aves acuáticas inglesas en canales. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

Especies	Canal en desuso	Canal en uso
Pequeño grebe (<i>Tachybaptus ruficollis</i>)	5.1	0.2
Fúllica (<i>Fulica atra</i>)	4.7	2.5
Gallineta común (<i>Gallinula chloropus</i>)	37.8	22.5

Desde la organización SEO²⁰ birdLife se explica que a medida que la actividad humana crece las aves se van adaptando, pero que hay especies más sensibles que no llegan a adaptarse y otras que, para sobrevivir, modifican su comportamiento progresivamente viviendo estresadas y teniendo que hacer esfuerzos superiores para alimentarse y reproducirse. Esto es lo que ha ido pasando en España²¹. El caso más significativo en las últimas décadas es el del gorrión común, cuya población en España en los últimos 10 años ha disminuido un 21 %, 30 millones de ejemplares menos²².

En el caso de las aves acuáticas que habitan en cuerpos de agua, sobre todo en los catalogados como espacios protegido, el ruido de las actividades acuáticas (Adams, Tippett, Nunn, & Archibald, 1992; Marchant & Hayde, 1980) como la navegación juega un papel importante (Royal Australian Institute of Parks and Recreation. & Geering, 1985), pudiendo causar graves perturbaciones (E, 1973; Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, 1995; Speight, 1973), como los citados anteriormente.

En los humedales, sobre todo en aquellos en los cuales las aves solo acuden en época de crianza, los efectos de la contaminación acústica podrían ser mayores, dejando incluso de acudir a estos lugares. Por su parte, las aves que habitan todo el año pueden estar acostumbradas al ruido, no obstante, habrán perdido sensibilidad auditiva, como se ha dicho anteriormente. Por otro lado, como es de esperar, se ha comprobado que las aves guardan mayor distancia a las embarcaciones a motor que a las de remo y vela (Ward, D and Andrews, 1993).

²⁰ Sociedad Española de Ornitología.

²¹ <https://www.elmundo.es/ciencia/2016/12/29/5863bab2e2704e76718b4578.html>

²² <https://www.seo.org/sacre/>

- Es sabido que los peces tienen órganos auditivos muy sensibles. Algunos incluso pueden detectar el espectro de ruido de barcos a motor a cientos de metros [18]. Debido a esta capacidad, el ruido del motor de los barcos puede llegar a alterar el comportamiento y aumentar el nivel de estrés de los peces (Graham & Cooke, 2008), afectando a sus ritmos cardíacos, tanto si se trata de barcos de remo en canoa, motor de arrastre o motor de combustión. Siendo el impacto más extremo el debido al motor de combustión, luego la de arrastre y en menor medida las de remo.

Como se ha dicho, el comportamiento (Bruitjes & Radford, 2013) de los peces se ve afectado por el ruido, no obstante, también afecta a las interacciones sociales entre diferentes especies. Comportamientos como la protección territorial y protección de los huevos, la excavación de nidos, defensa ante depredadores, hostilidad hacia otras especies de peces que no representan un peligro real, entre otros.

Se ha comprobado que el tráfico de barcos en agua dulce puede causar rotura de bancos de peces (Whitfield & Becker, 2014), aumento del gasto de energía necesario para alejarse de la perturbación, abandono de los peces a sus nidos (alimentan menos a las crías) por mayor tiempo (Mueller, 1980), nacimiento prematuro de larvas de peces (Jude, Tesar, & Tin, 1998), entre otros, dependiendo del tamaño de los peces (Becker, Whitfield, Cowley, Järnegren, & Næsje, 2013). En los peces de tamaño mediano, de 301 a 500 mm, se apreciaron una disminución de la población que, entre otros factores, se le atribuyó al ruido y proximidad del barco, entre otros.

Por otro lado, los efectos de las perturbaciones por la actividad de navegación a motor varían según el tipo de especie. Por ejemplo, se observó (Jackivicz & Kuzminski, 1973) que algunos peces son capaces de ubicar sus nidos en zonas donde se operan con barcos a motor, mientras que otros abandonaban el nido nada más detectar las perturbaciones. En relación a esto, un estudio (Mueller, 1980) realizado sobre el comportamiento de protección del nido del pez mojarra orejona (especie de pez luna) encontraron que la velocidad a la que circulaban las embarcaciones y la distancia del nido de las eran los factores más importantes. Los movimientos lentos de los barcos hicieron que los peces machos guardianes abandonaran el nido con más frecuencia que los movimientos rápidos. En la siguiente tabla se muestran algunos de los resultados.

Tabla 3. Desplazamiento de los peces luna macho en relación con la propulsión y velocidad de los barcos. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

Tipo de propulsión de los barcos	Velocidad de los botes (m/s)	Número de veces que los barcos pasan a una distancia de 0 a 4,5 m de los nidos	Veces los barcos hacen que los peces salgan de los nidos (%)
remo	1	43	71
motor	1	20	40
motor	> 5	31	3

Algunas especies son capaces de adaptarse a ruidos fuertes e incluso hacerse tolerantes y convivir con ellos, pero pierden sensibilidad a la hora de percibir otros sonidos. Las consecuencias a la contaminación acústica dependen del contexto y de la capacidad de cada especie a afrontar las perturbaciones. El contexto puede ir cambiando a lo largo del tiempo dependiendo de si el ruido es continuo, a intervalos, con diferentes espectros de sonido, etc. provocando nuevos efectos sobre los peces. Todos los efectos citados en este apartado, en un momento puntual, pueden provocar la disminución de población de una especie.

A modo de resumen, en la siguiente figura se muestra algunos de los impactos de la navegación sobre los peces.

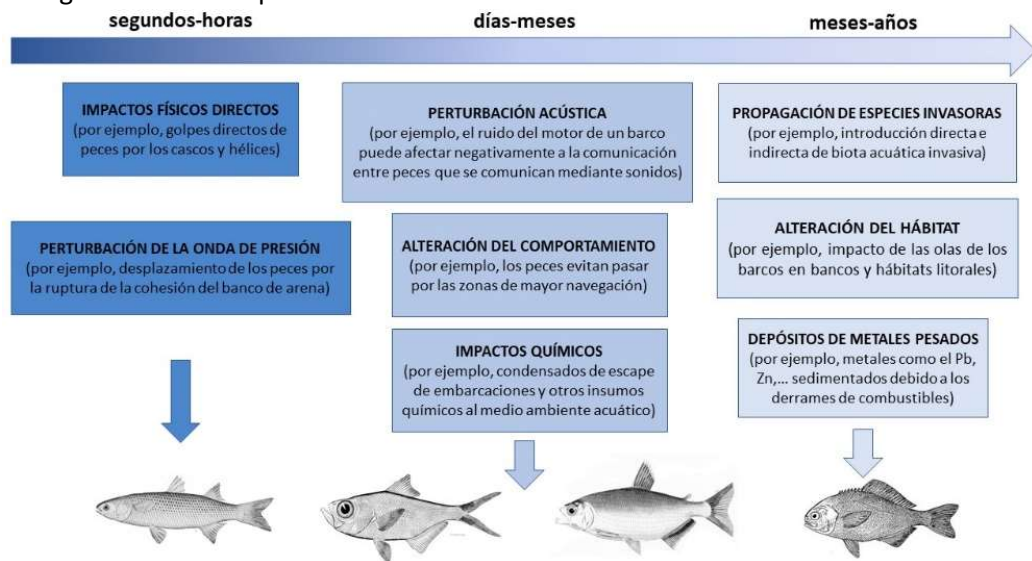


Figura 8. Influencias e impactos de la navegación en los peces en un marco de tiempo.
Elaboración propia basada en (Whitfield & Becker, 2014)

Como se ha dicho anteriormente, en el Parque Natural de la Albufera se cuenta con alrededor de 1000 barcas de pesca y paseo turístico censadas, y una gran cantidad de especies de animales, sobre todo aves. El ruido producido por las barcas produce un impacto importante sobre el ecosistema del Parque Natural. Sobre todo, en las zonas más confluídas por las barcas como el lago y en las zonas donde se suelen hacer los paseos (por las matas, por ejemplo).

Por ello, a modo de recoger y medir el impacto a nivel de contaminación acústica de las barcas de paseo turístico, mientras se estaba haciendo mediciones de velocidad y consumo de combustible y registro de las coordenadas durante el trayecto de un viaje (véase el Capítulo 3), se pudo medir el ruido (dB(A)) que emite el motor a diferentes distancias y estados del motor mediante un sonómetro. En la siguiente tabla se muestra los datos recopilados de los dB(A) medidos a 0,5 y 8 metros de distancia del motor:

Tabla 4. Mediciones del ruido durante el trayecto.

Estado del motor	Acelerando (dB(A))	Funcionamiento normal (dB(A))
Distancia del motor (m)	0,5	8
Aceleración	92,3	78,5
Funcionamiento normal	78,1	73,6

Nótese que se superan en bastantes dB(A) los límites establecidos para las zonas residenciales (45 dB(A) de día y 35 dB(A) de noche), límites aplicables al Parque Natural. Hay que destacar que el ruido se representa mediante escala logarítmica, no lineal. Es decir, por ejemplo, los efectos de 50 dB(A) son 10 veces mayor que los efectos de 40 dB(A), mientras que los efectos de un ruido de 60 dB(A) serán 100 veces mayor que los de 40 dB(A). En la siguiente figura se representan los datos de la tabla 4.

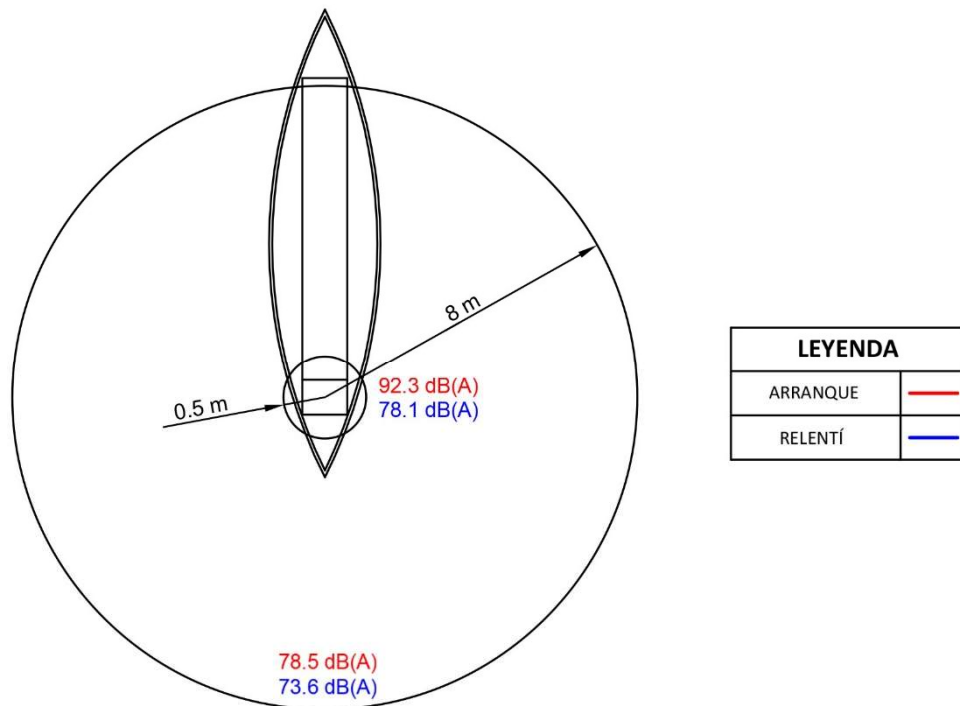


Figura 9. Representación de las mediciones de ruido del motor. Elaboración propia.

Por lo que se puede decir que, durante el funcionamiento normal de la barca, a 8 metros del motor, la contaminación acústica del motor diésel cuando acelera (78 dB(A)) es más de 1000 veces mayor que el permitido, mientras que al ralentí es cientos de veces mayor que el permitido. Mientras que, si las mediciones se hacen al lado del motor, pese a que el motor está encerrado y no está al aire libre, el nivel de ruido se va desde los 92,3 dB(A) en la aceleración y a los 78,1 dB(A) al ralentí, superando en mucho el nivel permitido.

No hay que olvidar los efectos que el ruido puede producir sobre los trabajadores, que día a día se exponen a niveles de ruido poco saludables. Según un estudio (Chávez Miranda, 2006), el ruido podría llegar a producir estrés, pérdida de atención, de concentración y rendimiento laboral, y sobre todo pérdida de capacidad auditiva, ya que a partir de niveles por encima de los 75 dB(A) el daño auditivo se considera existente. Además, se ha consultado el efecto del ruido que notan los trabajadores y han manifestado que el efecto que más sienten es la pérdida de capacidad auditiva.

Por otro lado, con los datos de las coordenadas que se registraban mientras se hacían trayectos (se realizaron 11 trayectos en los que se pudo recoger las coordenadas geográficas) mediante la aplicación de móvil MATLAB Mobile Sensor Data (véase el Capítulo 3), se pudo trasladar la información obtenida de los recorridos. Con la representación de cada recorrido se pudo hacer un mapa de calor, utilizando el programa Adobe Illustrator²³, en la que se muestra cuáles son las zonas del lago más frecuentadas en los paseos turísticos, y, por ende, las zonas del lago más afectadas por el ruido. Con ello, en la siguiente figura se muestra el mapa de calor de las barcas turísticas de El Palmar.

²³ <https://www.adobe.com/es/products/illustrator.html>

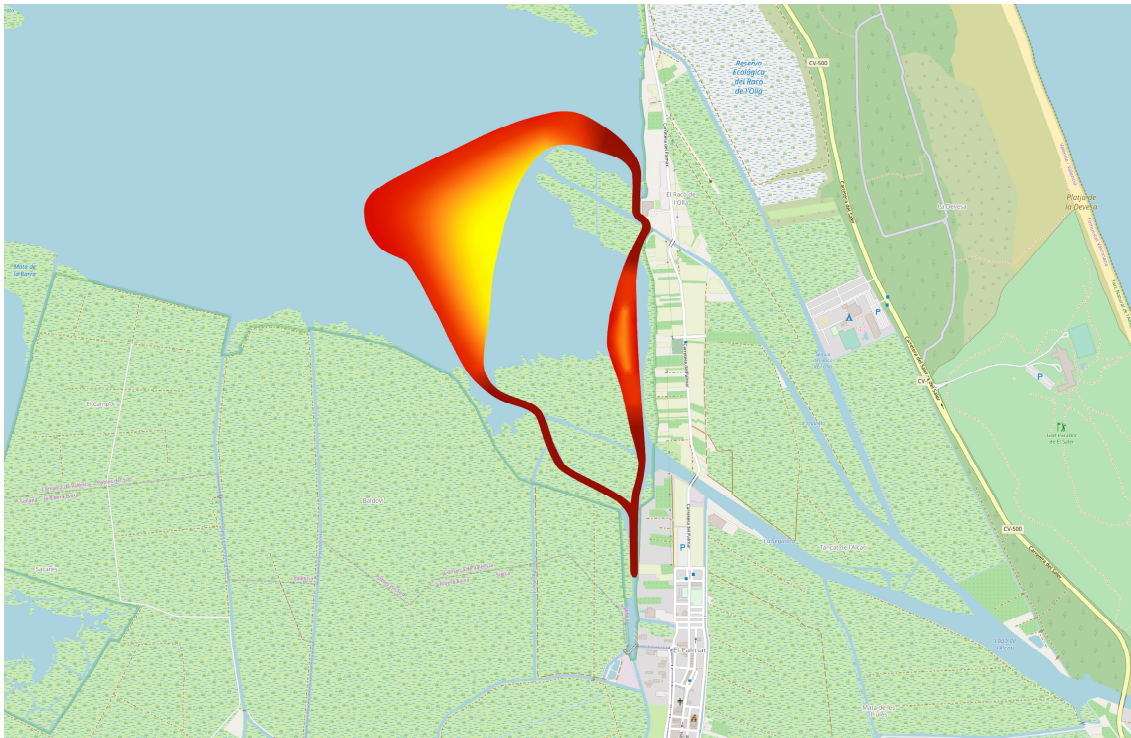


Figura 10. Mapa de calor de las barcas de paseo turístico de El Palmar. Elaboración propia.

Como se puede ver, el recorrido seguido por las barcas de paseo turístico es muy similar, variando únicamente en las zonas donde se adentra más hacia el centro del lago. Por tanto, también, las zonas afectadas por el ruido serán las mismas, ya que el recorrido es siempre muy similar. Las zonas donde el color es más oscuro representan los lugares o zonas más han coincidido los trayectos seguidos, y las zonas más claras representan aquellas en las que no han coincidido tanto los recorridos.

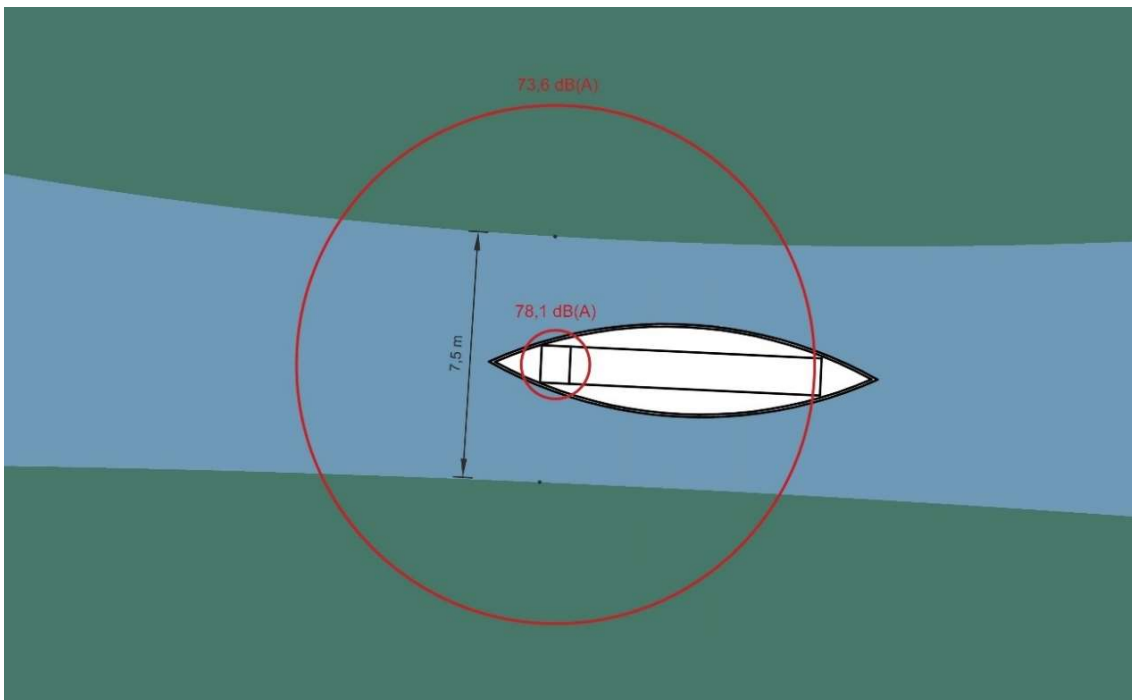


Figura 11. Representación del campo de alcance del ruido a escala. Elaboración propia.

Como es de esperar, los trayectos coinciden en las zonas donde el camino es más estrecho (y el color en el mapa de calor es más oscuro). Desafortunadamente, las zonas donde el camino es estrecho están rodeadas de pequeñas islas en las cuáles las aves establecen sus nidos, llamadas matas. Por ello, en la figura anterior se representa, a escala, el ruido que emite una barca cuando circula por uno de estos caminos estrechos rodeados por matas. En la figura se puede ver como niveles elevados de ruido llegan a afectar adentro de las matas, que (según los datos de la tabla 4) emiten 73,6 dB(A) al ralentí, a 8 metros de distancia del motor (distancia suficiente para afectar a las matas).

Por tanto, como se ha podido ver, unos de los beneficios de la transición a unas barcas eléctricas más importantes es el ruido, y no solo es beneficioso para el ecosistema natural sino también para las personas que trabajan y los turistas que visitan el Parque Natural cada día. Ya que como se ha dicho anteriormente, el descenso de ruido reduciría los posibles efectos nocivos del ruido sobre las aves y peces y personas, y ayudaría a la conservación del espacio protegido.

2.2.2. Impactos químicos

Entre los impactos químicos de la navegación en cuerpos de agua se pueden encontrar los relativos a la contaminación atmosférica, por los gases de escape de los motores de las embarcaciones, y la contaminación del agua debida a derrames de combustible (Adams, 1993; Adams et al., 1992; Office of the Commissioner for the Environment, 1988).

2.2.2.1. Contaminación atmosférica

Los gases de escape de un MCIA están compuestos por CO₂, NO_x, HC, CO, SO_x, entre otros, que contribuyen al efecto invernadero. La composición de dichos gases variará dependiendo del tipo de combustible que se use, de la cantidad de aire de entrada, del rendimiento del motor, entre otros factores. En el caso de ser un motor de 2 tiempos (2T), los gases de escape serán más contaminantes debido a que debido al hecho de que se quema aceite (usado para lubricar los pistones) con el combustible, mientras que con uno de 4 tiempos (4T) no. El hecho de que el motor sea de 2 o 4 tiempos también influye en los posibles vertidos que pueda haber que contaminen el agua (Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón Agramunt, 2005). Como se verá en el siguiente impacto, todas las barcas de paseo tienen motores de 4T.

Por otro lado, tradicionalmente lo que más afecta a la calidad del aire de la Albufera es la quema de la paja de los arrozales que se realiza anualmente. Ha llegado a ser causa de controversia²⁴ en los ciudadanos de Valencia y alrededores del Parque Natural debido a que algunas veces se ha formado nubes de humos de partículas que, impulsadas por el viento, han llegado al centro de la ciudad. Ya que no se puede prohibir la quema total de la paja de arroz por temas de falta de sanidad vegetal y de falta de oxígeno en el agua, se han ido tomando diversas medidas para mitigar su impacto. Medidas como la división del Parque Natural en dos áreas²⁵, en una de las cuales se podrá proceder a la quema (en función de las condiciones meteorológicas y de prevención de incendios), y en la otra no se podrá quemar en ningún caso. También se pretende subvencionar el empacado y transporte de la paja de arroz para usos alternativos.

²⁴ <https://www.elmundo.es/elmundo/2010/10/19/valencia/1287504935.html>

²⁵ <https://www.lasprovincias.es/comunitat/albufera-zonas-quema-paja-arroz-20180910121046-nt.html>

En cuanto a la legislación referente a la contaminación atmosférica en un determinado lugar, en el anexo I del Real Decreto 102/2011²⁶, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, se determina los valores límite de protección de la salud, nivel crítico para la protección de la vegetación y umbral de alerta de distintos contaminantes. Además, se determina el valor límite de emisión promedio en periodos horario, diario y anual, y en algunos contaminantes se aplica un valor límite octohorario²⁷.

En el anexo III del mismo se determina que las autoridades competentes deben encargarse de buscar la ubicación adecuada para los puntos de muestreo o medición. Actualmente, en marzo de 2019, el centro de Valencia cuenta con 7 puntos de medición de calidad del aire. Situados en Sagunto, Mislata, Quart de Poblet, U. Politécnica de Valencia, en la Avenida Francia, en la Pista de Silla y en la plaza del Ayuntamiento de Valencia (el más reciente).

En estos puntos de control se miden diferentes parámetros contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂), partículas en suspensión con diámetro inferior a 10, 2.5 y 1 micras (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃). En el caso de la Albufera, los parámetros que más interesan son el SO₂, NO_x y ozono, puesto que son los que tienen valores límites específicos para no dañar la vegetación y los ecosistemas. En la tabla 21 del ANEXO 1 se muestran los valores límites de concentración del Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

La influencia de las barcas en la contaminación atmosférica de la Albufera no es tan significativa como el efecto que tiene el tráfico circulante por la V-15 que atraviesa el Parque Natural o la quema de paja. No obstante, no hay que obviar las ventajas de la transición hacia unas barcas con motor eléctrico en la atmosfera ya que se dejarían de emitir gases contaminantes en la Albufera²⁸, además de posibles fugas y vertidos que pueda haber.

2.2.2.2. Vertidos de combustible y contaminación química

Como se decía anteriormente, la cantidad y el tipo de vertido o derrame de combustible de las embarcaciones en el agua dependerá del tipo de motor que se tenga, que dará paso a la formación de diversos hidrocarburos (Mastran, Dietrich, Gallagher, & Grizzard, 1994). En el caso de ser un motor de 2T se tendrá más vertidos que en uno de 4T ya que consume más y no se aprovecha tanto el combustible (hay mas parte del combustible que no llega a reaccionar completamente en el proceso de la combustión (Bate, 1985)).

Por otro lado, hay dos posibilidades de localización del motor: fueraborda (motor exterior al barco) e intraborda (motor en el interior del barco). La contaminación en cuanto a vertidos y gases de escape en ambos es casi la misma, dependerá mayormente de si se trata de uno de 2T (mayor contaminante) o 4T (menor contaminante). En general, los motores fueraborda son los más usados entre otras cosas porque en caso de avería no es necesario desmontar todo el barco como en los intraborda, su sistema de funcionamiento es más sencillo y presenta menos

²⁶ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>

²⁷ El máximo de las medias móviles octohorarias del día deberá seleccionarse examinando promedios móviles de ocho horas, calculados a partir de datos horarios y actualizados cada hora. Cada promedio octohorario así calculado se asignará al día en que dicho promedio termina.

²⁸ Se dejarían de emitir gases contaminantes en la Albufera de Valencia, pero los gases se emitirían en las centrales térmicas (que aún tienen bastante importancia en el mix energético español) al generar la electricidad que consumirían las barcas eléctricas, en menor medida, como se verá más adelante.

componentes por lo que la probabilidad de avería y coste de mantenimiento es menor, etc. Por todo ello, lo que más abunda son los motores fueraborda de 4T²⁹.

En el caso de la Albufera de Valencia, los tipos de barcas que hay son de paseo turístico y de pesca, y todos tienen un motor intraborda y diésel. Todas las barcas de paseo turístico tienen un motor de 4T porque son las barcas de mayor tamaño (12 metros de eslora), mayor peso (1000-1500 kg) y necesitan mayor potencia, ya que deben ser capaces de llevar el peso de hasta 40 personas, llegando a alcanzar la masa (y peso) máxima total de más de 4 toneladas (suponiendo 80 kg por persona).

Por otro lado, los problemas del aceite son importantes ya que películas de grosor superior a 10⁴ cm pueden llegar a provocar agotamiento temporal del contenido en oxígeno de la capa de agua (H., 1968), y a su vez puede perjudicar el crecimiento de diversas plantas acuáticas. Se realizó un estudio (Wall & Wright, 1977) que afirmaba que para la oxidación de 1 g de aceite en un lago, originada por actividades de navegación a motor, se necesitan 3,3 gramos de oxígeno; y que la falta de oxígeno en las capas superiores de agua afecta a la producción de fitoplancton y algas unicelulares, que finalmente afectan en la cadena alimentaria de los peces y otros organismos acuáticos (Mann et al., 2007).

Según diversos estudios (Energy, 1987; McKenzie, 1986), los derrames de combustible se destacan como el principal impacto de la actividad de navegación a nivel químico, a partir del cual derivan otros. Se ha comprobado que pueden llegar a provocar cambios químicos directos en la calidad del agua (McKenzie, 1986; W., 1985) al agregar productos de la combustión y combustible (hidrocarburos de cadena larga y corta, azufre, zinc, fósforo, fenoles, entre otros (Burton, 1975; Kuss, Fred R y Graefe, Alan R y Vaske, 1990), que no han completado el proceso de la combustión (Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, 1995).

La mayoría de los contaminantes citados anteriormente se acumulan en los sedimentos del fondo, de entre los cuales algunos pueden permanecer en forma tóxica durante largos periodos de tiempo (Kuss, Fred R y Graefe, Alan R y Vaske, 1990). Los parámetros físicos del agua como el pH, dureza (compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua), alcalinidad y contenido de oxígeno disuelto en el agua se ha comprobado que no se vieron afectados por la actividad de navegación (Jackivicz & Kuzminski, 1973). Se hizo un experimento de seis estanques: tres con actividad de navegación y los otros tres sin, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Datos promedio de la química del agua en tres estanques de control y en tres estanques de uso motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

Estanque	pH	Alcalinidad de fenolftaleína (p.p.m.)	Alcalinidad total (naranja de metilo) (p.p.m.)	DO (cc L ⁻¹)
Control	7.3	14.33	129	5.17
Uso de motor	7.4	16.00	120	5.27

Como se ha dicho, los derrames también tienen efectos sobre las aves, plantas (como se ha visto anteriormente), peces e invertebrados acuáticos (Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, 1995; Tarkpea & Svanberg, 1982), entre otros. Para el estudio de los efectos sobre los peces, se realizó un estudio (Surber, 1971) en el que se examinó una especie de pez en un lago en el que

²⁹ http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Fueraborda-Intraborda/Fueraborda-Intraborda.asp

se realizaban actividades de navegación a motor, un estanque sometido a perturbaciones de embarcaciones a motor y otro estanque sin actividades acuáticas a motor. Posteriormente, se fueron extrayendo ejemplares de cada escenario, los cuales posteriormente se examinaron y frieron. Se encontró que en los casos de aquellos sometidos a usos de motor la contaminación era significativa, se apreciaron aumentos importantes en el umbral de olor³⁰ en el contenido de hidrocarburos y también un aumento en la demanda de cloro de los cuerpos de agua.

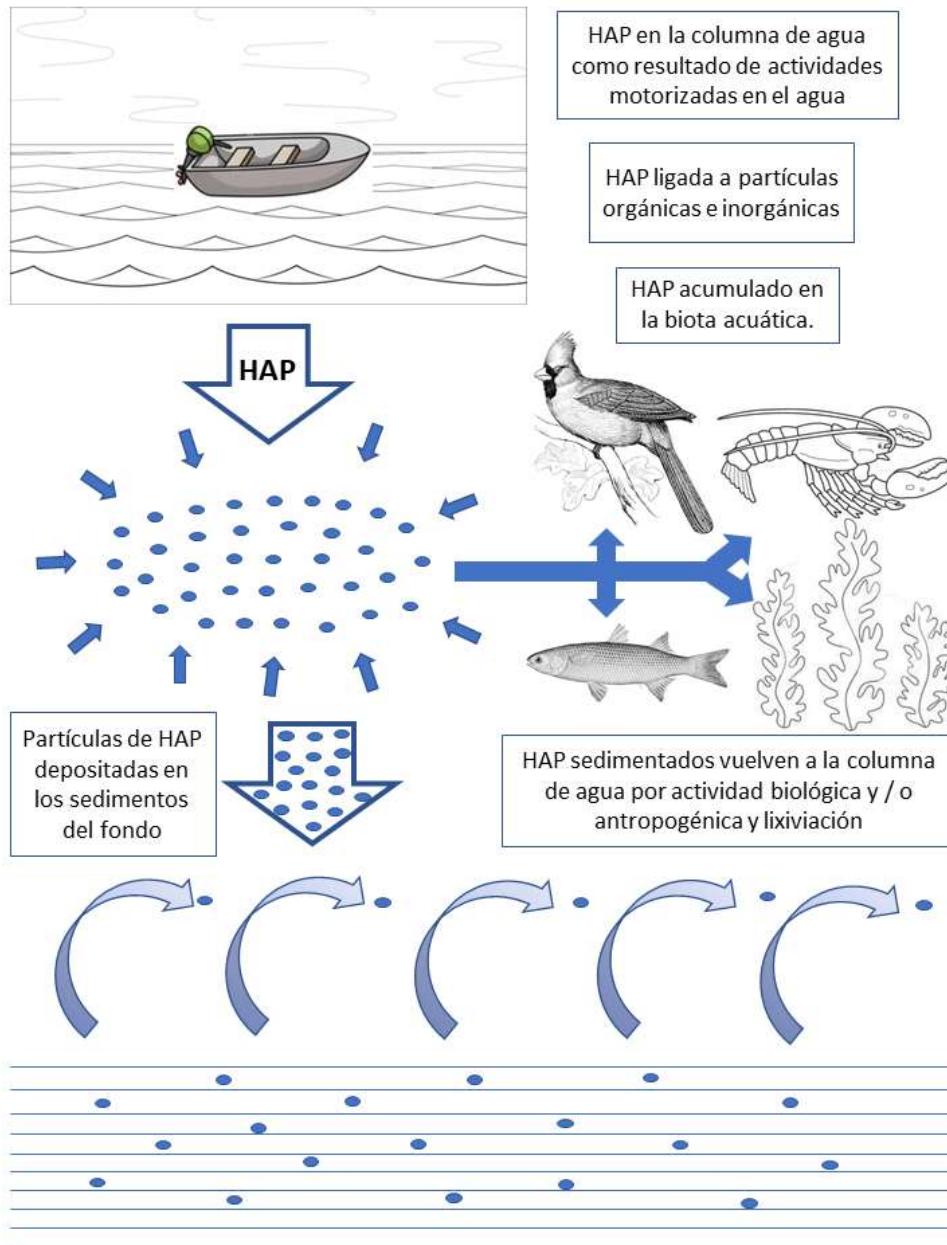


Figura 12. Vías de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en el medio acuático. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 2001).

Por otro lado, las aves acuáticas son una de las peores paradas de la contaminación química de las aguas debido a la fácil accesibilidad a las aguas (Jenssen, 1994). Los impactos sobre las aves

³⁰ El umbral de olor es concentración de una sustancia cuyo olor se percibe.

pueden ir desde el consumo de agua contaminada (que le podría causar graves problemas en sus sistemas locomotor, respiratorio, entre otros) hasta los daños debidos a los aceites e hidrocarburos adheridos a sus plumajes. Si el ave está en el agua la adhesión de hidrocarburos y aceites puede afectar a la capacidad de mantener el calor corporal, de manera que pierdan más calor del que generen pudiendo provocar hipotermia, mientras que, si está en tierra, con un plumaje seco, puede tener un aislamiento térmico normal. A modo de resumen, en la figura 12 se muestran las diferentes vías que tienen los HAP de alojarse en el medio acuático:

2.2.3. Otros impactos

La mayoría de impactos de las actividades de navegación a motor sobre la flora y fauna ya se han descrito anteriormente, no obstante, hay otras maneras de impacto que dichas actividades pueden ejercer sobre el ecosistema como: la dispersión de plantas acuáticas³¹ (que a priori no supone un problema pues las barcas de paseo van solo por el lago), hacer que un canal o zona de un lago que en principio no es navegable debido a la biota acuática pase a serlo (como en algunos lagos de Canadá (R, 1979)), entre otros.

2.2.4. Resumen

A modo de resumen, a continuación, se muestra una descripción general de como las actividades de navegación a motor impactan en las plantas y animales acuáticos, respectivamente.

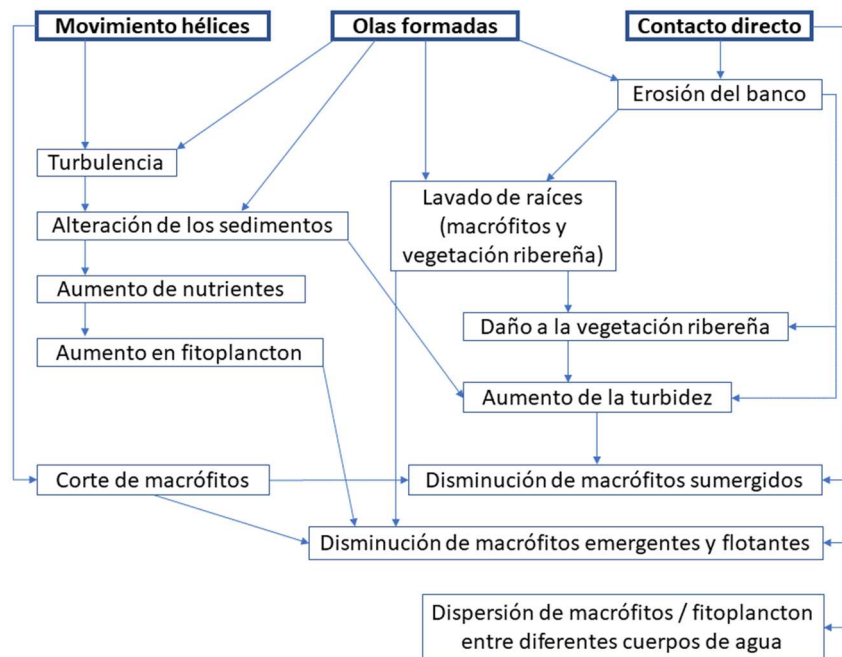


Figura 13. Impactos de las actividades de navegación sobre las plantas acuáticas. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

³¹ La dispersión de plantas acuáticas es la introducción de especies de plantas acuáticas por parte de embarcaciones que son usadas en cuerpos de agua distintos (trozos de plantas que se enredan en las hélices y otros elementos).

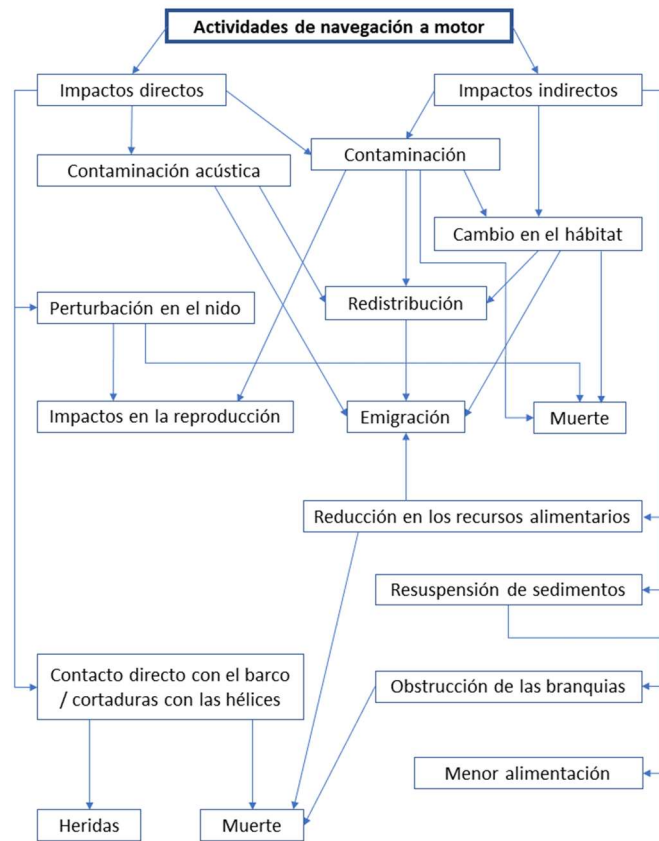


Figura 14. Impactos de las actividades de navegación en los animales acuáticos. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

Ahora se presentan un resumen de los tipos de impactos que las actividades de las embarcaciones a motor tienen sobre el ecosistema de un lago, como en la Albufera de Valencia.

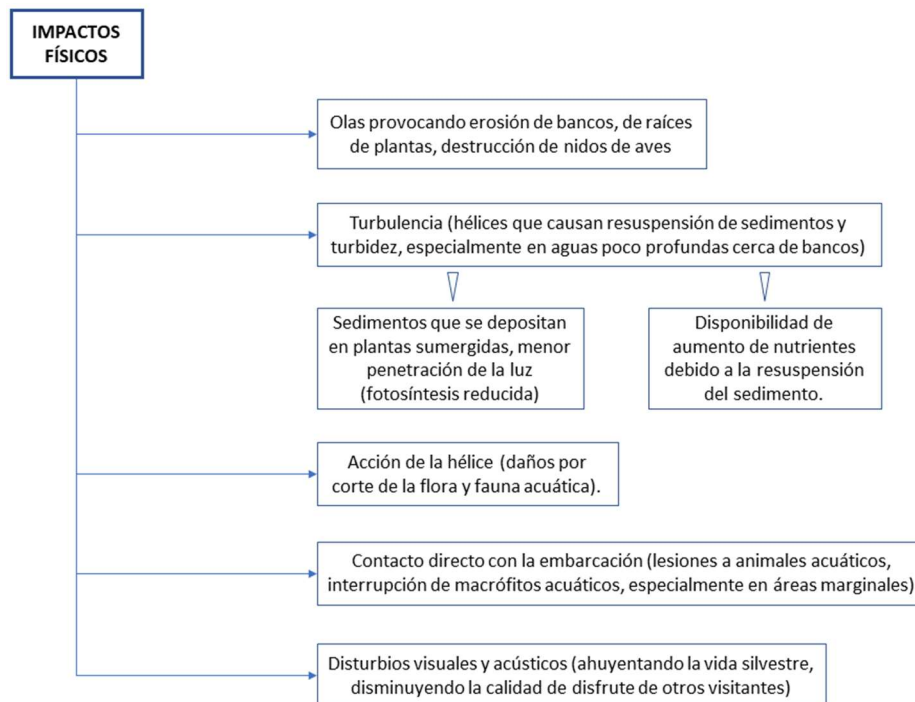


Figura 15. Resumen de los principales impactos físicos en los sistemas acuáticos por actividades de navegación a motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

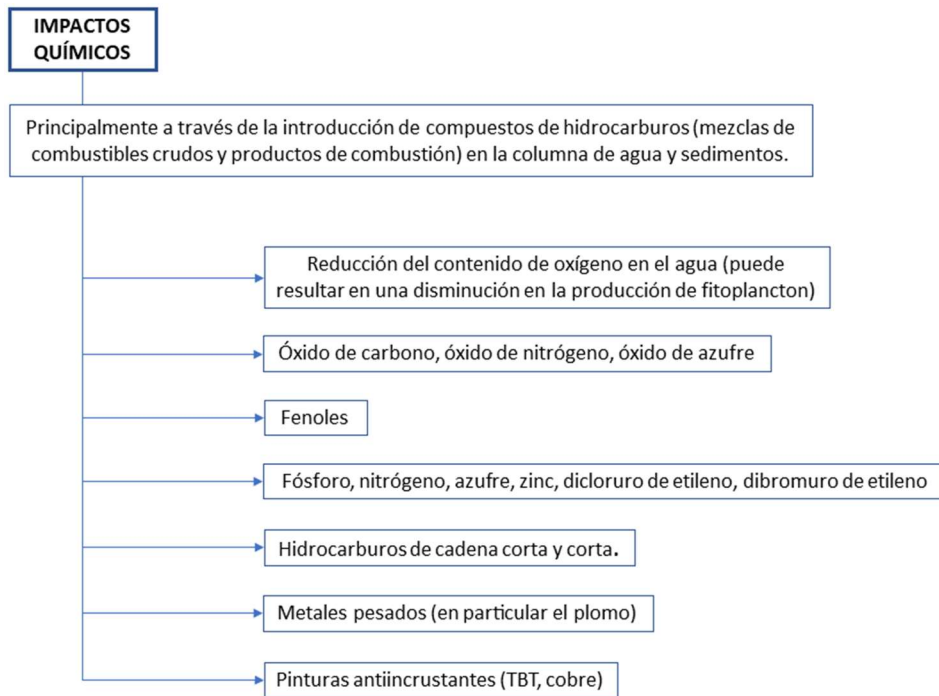


Figura 16. Resumen de los principales impactos químicos y de metales pesados (en particular, plomo) en los sistemas acuáticos mediante navegación a motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

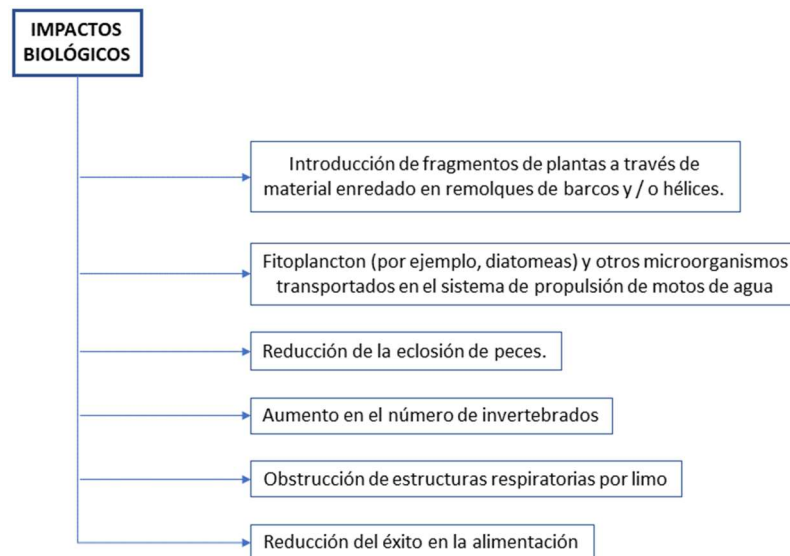


Figura 17. Resumen de los principales impactos biológicos en los sistemas acuáticos por actividades de navegación a motor. Elaboración propia basada en (Mosisch & Arthington, 1998).

2.3. Norma PAS 2050

Como se ha dicho anteriormente, para saber la cantidad de gases contaminantes que se dejan de emitir al pasar a un sistema de propulsión eléctrico se debe tener en cuenta la huella de carbono en el ciclo de vida de un producto. Es decir, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), cuantificadas en CO₂ equivalentes, que son liberadas a la atmósfera a lo largo

del ciclo de vida del producto. El ciclo de vida incluye las emisiones por la producción de materia prima y componentes, procesos de transformación y durante la utilización y disposición final del producto o servicio.

Para tal fin, se han desarrollado varios documentos con el objetivo de establecer metodologías, guías y referencias en este ámbito de cálculo. Una de las más conocidas es la norma PAS 2050, de aplicación voluntaria, que se basa en las normas internacionales ISO 14021, 14025, 14040, entre otras, relativas a los sistemas de gestión ambiental. El procedimiento de cálculo se basa en que las emisiones de gases deben medirse en masa y convertirse a emisiones de CO₂ equivalentes utilizando coeficientes de conversión IPCC³².

En el caso de las barcas, las emisiones de GEI se deben en su inmensa mayoría al uso del diésel como combustible. Por ello, pese a que para calcular la huella de carbono de acuerdo con la norma se deberían tener en cuenta factores como las emisiones que se produjeron en la fabricación de la barca, del motor, etc. así como de las emisiones que se emitirían al transportar el motor térmico (hasta un desguace, por ejemplo) cuando se cambie por el motor eléctrico, etc. solo tendremos en cuenta las emisiones relativas al consumo de diésel y electricidad.

Por ello, se observa que el factor de emisión para el gasóleo B³³ es de 2,493 kg CO₂/l, mientras que para el factor de emisión de la electricidad³⁴ se tomará como referencia el del mix energético a nivel nacional, que resulta que es de 0,246 kg CO₂/kWh. Para el cálculo de la reducción de emisiones véase el Capítulo 5.

³² Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es el organismo de las Naciones Unidas para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático. <http://www.ipcc.ch/>

³³ https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf

³⁴ Dato obtenido de Red Eléctrica de España (REE), operador del sistema eléctrico español. <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>

CAPÍTULO 3. NECESIDADES ENERGÉTICAS

La metodología que se va a seguir para determinar las necesidades energéticas será recopilar datos de la actividad laboral de los usuarios para que posteriormente, en el siguiente capítulo, se traten estos datos con el fin de dimensionar las baterías y motores, y el modo de carga.

3.1. Registro de datos y utilidad

Para recopilar datos de la actividad laboral en un principio se propuso utilizar alguna de las aplicaciones para correr, como el Endomondo³⁵, pero se encontró con la problemática de que las aplicaciones no eran capaces de distinguir entre los momentos en los que la embarcación está detenida y en los que está en movimiento. Esto supuso un problema porque para que la aplicación obtenga una velocidad media correcta era necesario detener la aplicación en cada parada (espera entre viaje y viaje, por ejemplo). También se tenía que apuntar en un papel otros datos, como las horas de inicio y final de cada parada, entre otras cosas. Para posteriormente saber los momentos en que se podía cargar las barcas y con ello estimar una curva de demanda energética y elegir una tarifa eléctrica que se adecue a las necesidades energéticas.

También, con la aplicación se pretendía hacer un mapa de calor recopilando todas las rutas seguidas por los usuarios durante los paseos que recoge la aplicación, mostrando las zonas del lago por las cuales los barqueros de El Palmar circulan habitualmente y con ello mostrar las zonas del lago más vulnerables a la contaminación acústica. Con el mapa de calor también se pretendía evaluar cuales eran los puntos óptimos para la instalación de posibles postes de carga. Con todo esto, y teniendo en cuenta que los barqueros no estaban habituados a usar este tipo de aplicaciones, se les hizo difícil tener que trabajar y tomar datos a la vez, por lo que se decidió simplificar la toma de datos.

En lugar de ello, se propuso recoger datos relativos al consumo de gasoil (l/día) y la cantidad de trabajo (paseos en barca) que se hacen en días normales y días con mucho trabajo y el horario de trabajo (hora de inicio y final de la jornada laboral y tiempo de descanso para la comida). También se tomó nota de los litros y € gastados en gasoil al mes.

Por otro lado, con los datos de la cantidad de trabajo y horario se pretendía conocer las horas disponibles durante el día para cargar las baterías, con el objeto de estimar una curva de demanda eléctrica y evaluar el tipo de tecnología para la recarga (baterías extraíbles o postes de carga), como se verá más adelante. Con los consumos y gastos de gasoil se pretende estimar la energía necesaria (kWh) para el trabajo diario, y con ello la capacidad que deben tener las

³⁵ <https://www.endomondo.com/>

baterías, y el ahorro económico en el combustible (de gasoil a electricidad) y en toneladas de CO₂, y evaluar la viabilidad económica.

Por otro lado, es sabido que en el lago todas las embarcaciones van a velocidad reducida y constante, debido en gran parte a la poca profundidad que hay en el lago (≈ 1 metro, que depende de la zona del lago y de la época del año), ya que lo que se busca es hacer un recorrido con calma para que se pueda apreciar el paisaje del lago. También es sabido que habitualmente los barqueros de El Palmar siguen el mismo recorrido, que suele durar alrededor de 35-40 min. Por todo ello, se decidió realizar el trayecto habitual de los barqueros personalmente a bordo del barco en el cual, utilizando la aplicación de MATLAB Mobile Sensor Data³⁶, se pudo recoger datos relativos a las coordenadas geográficas y velocidad. Durante un viaje también se midió el ruido dB(A) del motor con un dosímetro en el arranque y al ralentí, y a 0,5 y 8 metros del motor. Con los datos de la velocidad (media y máxima), y teniendo en cuenta el peso de la embarcación y pasajeros y características de los fluidos que participan en el movimiento de la embarcación (agua y aire), se estima la potencia que debe tener el motor eléctrico para mover la embarcación. Con las coordenadas registradas, y mediante una función de MATLAB, se hace un mapa del recorrido realizado. Además, también se tomó nota de los tipos de motores que se usan, de 2T o 4T, ya que el de 2T es el que más contamina, tiene más vertidos o derrames de combustible sobre el lago ya que lo aprovecha menos (todas las barcas de paseo turístico son 4T).

Por otro lado, cabe destacar la importancia tanto del consumo de gasoil como de la velocidad de la embarcación ya que son parámetros que influyen directamente en el cálculo de la capacidad de las baterías, como se verá más adelante. El registro de la velocidad se realizó con la aplicación antes citada, mientras que el consumo de gasoil se realizó midiendo la diferencia de combustible en el depósito antes y después del viaje. Para hallar el consumo de gasoil se llena el depósito completamente (hasta donde está el tapón del depósito) antes de realizar el viaje. Después del viaje se vuelve a llenar el depósito hasta el mismo punto, pero esta vez se mide lo que se está llenando. Para medir cuánto diésel se está introduciendo, se llena una jarra (jarra típica que se usa en la cocina para medir la cantidad de litros de algún alimento) hasta 1 litro, por ejemplo, y de ahí se vierte en el depósito. De esta manera, el diésel consumido en el viaje será la diferencia en la jarra, el litro menos lo que queda en la jarra.

3.2. Datos recopilados

A modo de tener una idea de la actividad laboral de los trabajadores se les consultó el número de viajes que se realizan normalmente y lo máximo que pueden llegar a hacer (domingos de verano), así como el consumo aproximado de gasoil en dichos días. Así pues, en la siguiente tabla se muestran los datos recogidos:

Tabla 6. Cantidad de trabajo de los barqueros en días normales y días con mucho trabajo.

Tipo de jornada laboral	Habitual	Temporada alta
Número de paseos	3-5	6-8
Litros/día	4	6

³⁶ <https://es.mathworks.com/help/supportpkg/mobilesensor/android-sensors-data-acquisition.html>

Como se puede ver, se gasta alrededor de 1 litro por viaje en barca. Por otro lado, se ha consultado el horario habitual de los barqueros, que es de 11:00-11:30 h hasta las 14:30-14:45 h, momento en el que paran a comer hasta las 16:30-17:00 h, y continúan hasta las 21:30 h en verano. En verano prácticamente trabajan hasta el momento en que se pone el sol, debido a que en medio del lago se contempla un paisaje atractivo en la puesta de sol. En invierno el horario es de 11 h hasta las 14 h, momento en el cual se para para comer hasta las 16 h y se trabaja hasta las 19 h más o menos (dependiendo de las horas de sol que haya).

A continuación, con la aplicación MATLAB Mobile Sensor Data se recopilieron las coordenadas geográficas de 10 viajes y, mediante una función creada en MATLAB, se pudo representar el recorrido de los viajes. Posteriormente, utilizando el programa Adobe Illustrator³⁷ se pudo hacer la siguiente figura, en la que se puede ver representados los 10 recorridos:



Figura 18. Recorrido de 10 viajes registrados.

Como se puede ver, el recorrido de las embarcaciones casi es el mismo, variando mayormente a medida que se adentra más al centro del lago. Con ello, se aprecia que, ya que el trayecto seguido por las barcas de paseo turístico de El Palmar es casi el mismo, las zonas afectadas por el ruido serán también las mismas, como se mencionó en el anterior capítulo.

Por otro lado, las mediciones del consumo de combustible y velocidad fueron realizadas con el embarcadero de El tío pastilla³⁸, situado en El Palmar. Se realizaron 6 viajes en barca en los que se pudo obtener datos de las velocidades de la embarcación a cada segundo, número de personas a bordo, mediciones del consumo de combustible, entre otros datos. A continuación,

³⁷ <https://www.adobe.com/es/products/illustrator.html>

³⁸ <http://eltiopastilla.com/>

en la siguiente figura se muestran los datos registrados de la velocidad a cada segundo de los 6 viajes realizados en barca con el embarcadero de El tío pastilla:

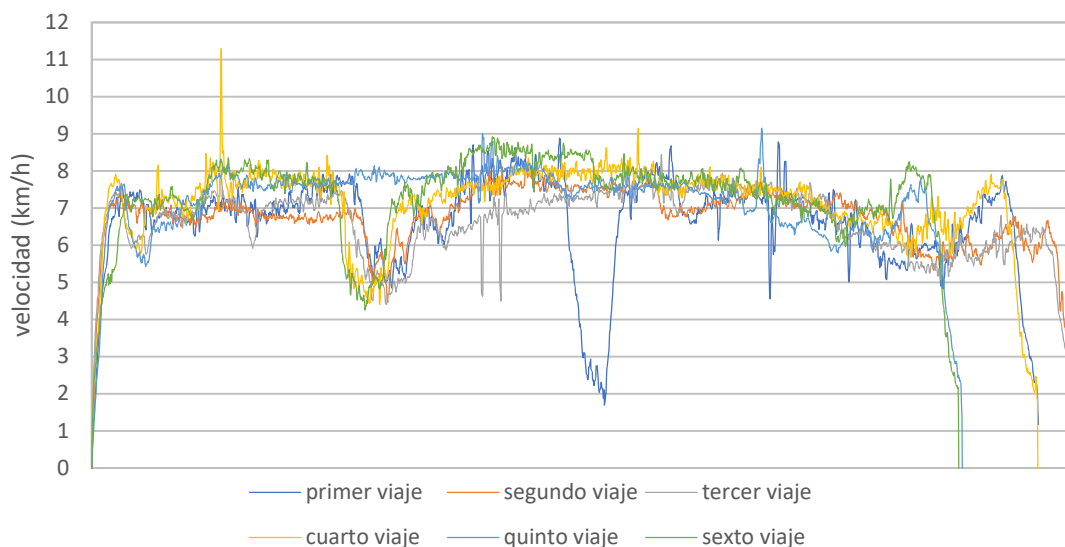


Figura 19. Velocidad registrada durante el trayecto.

Como se puede ver en la figura anterior, se mantiene una velocidad casi constante a lo largo del recorrido, cercana a los 7 km/h. Por otro lado, de estos 6 viajes en los que se ha registrado la velocidad, también se ha tomado nota de los litros consumidos (en este caso al final de cada viaje y de la manera descrita en el apartado anterior) y el número de personas a bordo. También se han consultado parámetros de la meteorología como la velocidad del viento³⁹ en el día en el que se hizo las mediciones. Con todo ello, se muestra la siguiente tabla resumen:

Tabla 7. Parámetros de los viajes registrados.

Viajes registrados	1	2	3	4	5	6	media
Velocidad media (km/h)	6,68	6,80	6,63	7,16	7,24	7,44	6,99
Velocidad máxima (km/h)	8,89	8,22	8,44	10,18	9,15	8,92	8,97
Distancia recorrida (km)	4,02	4,25	4,15	4,31	4,00	4,05	4,13
Número de personas a bordo	30	25	34	8	14	6	20
Diésel consumido (litro/viaje)	0,50	0,65	0,78	0,85	0,85	0,90	0,76
Velocidad media del viento en esos días (km/h)	8,5	7,4	5,5	5,5	5,5	5,5	6,32

El consumo medio de diésel por viaje de 0,76 litro/viaje de la tabla anterior está cerca del 1 litro/viaje de diésel que declararon los trabajadores que se consumía más o menos en cada viaje. Por otro lado, es llamativo la variación en el consumo de gasoil, que puede deberse a varios factores como la velocidad de la embarcación, la temperatura ambiente, de si se trata del primer viaje del día y el motor esta frio, entre otros (López Martínez & Sánchez Alejo, 2008). No obstante, el factor con mayor impacto en el consumo se prevé que sea la velocidad ya que, como se verá más adelante, influye directamente en el cálculo de la potencia y la energía necesaria

³⁹ Datos de velocidad del viento registrados en la estación meteorológica del Tancat de la Pipa (Albufera de Valencia). <https://www.avamet.org/mx-records.php?id=c15m250e16>

que hace que se mueva la embarcación. Por ello, en la siguiente figura se muestra la relación del consumo de gasoil con la velocidad:

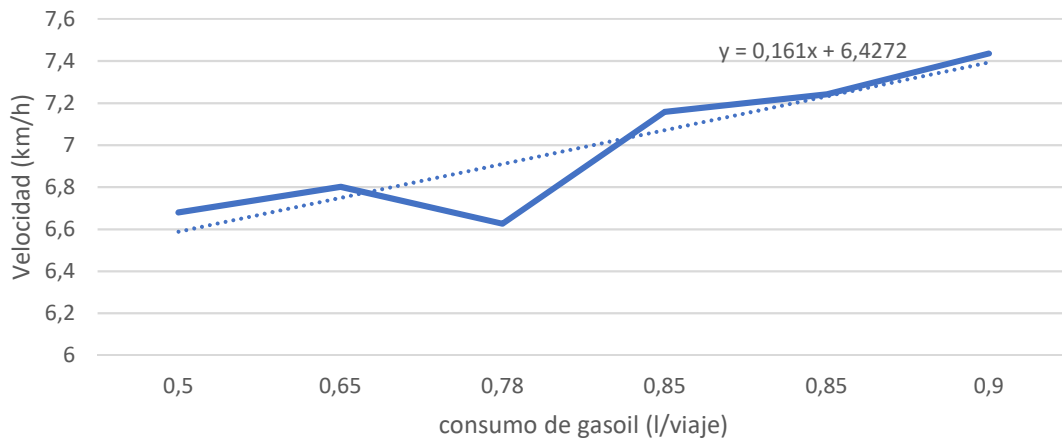


Figura 20. Relación del consumo de gasoil con la velocidad de la embarcación.

Hay que resaltar que, pese a que el recorrido mostrado en el mapa de 40 minutos es el que habitualmente se hace, se sabe que la ruta puede cambiar si los pasajeros así lo solicitan (por ejemplo, si se quiere 1 hora de paseo), por lo que las zonas y especies de aves afectadas por la contaminación acústica puede variar.

CAPÍTULO 4. DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS, EL MOTOR Y EL PROCESO DE CARGA

En este capítulo se elegirá la mejor opción tecnológica a implantar y, con los datos tomados, se dimensionarán y seleccionarán los modelos a instalar. También se indagará en la mejor forma de cargar las baterías.

4.1. Selección del tipo de motor eléctrico y baterías

En esta primera sección del capítulo se verán los diferentes tipos de motores eléctricos que más se usan en la actualidad y se elegirá el modelo a instalar. De la misma manera se hará con las diferentes tecnologías de las baterías y se elegirá las que mejor se adaptan a las necesidades.

4.1.1. Características y tipos de tecnologías de motores eléctricos

Los principales parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de batería son (Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011):

- Densidad de potencia: que se podría definir como el cociente entre la potencia y el peso. Representa la potencia que proporciona el motor por unidad de masa.
- Potencia nominal: potencia que es capaz de dar en régimen nominal.
- Rango de voltaje: capacidad de ser alimentado desde sistema de baterías hasta grupos electrógenos.
- Coste: precio del motor.
- Eficiencia: expresada en %, representa la energía que recibe el motor y que se transforma en energía mecánica a la salida del motor.

Respecto al tipo de motor a utilizar, a continuación, se describe los tipos de motores eléctricos comúnmente utilizados en vehículos eléctricos⁴⁰:

- Motor de corriente continua: son los que primero se usaron para la tracción de vehículos eléctricos debido a la facilidad de control, donde con solo un reóstato y unos contadores era posible controlar la velocidad del vehículo sin tener que recurrir a la electrónica. Electrónica que en aquel entonces no se había inventado. Actualmente de este tipo de motor se utiliza su variante "brushless" para vehículos de baja potencia.

⁴⁰ http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm

- Motor síncrono de imanes permanentes: se caracteriza en que el rotor está magnetizado y gira a la misma velocidad que el campo magnético rotativo. El rotor consta de electroimanes o imanes permanentes que crean un flujo constante en el entrehierro (no sería necesario tener un rotor bobinado y escobillas utilizadas para la excitación de los motores de CC). El par de rotación se produce por la interacción de los campos magnéticos creados por el rotor y estator. Estos tipos de motores tienen alta densidad de potencia, bajo coste de mantenimiento, potencia nominal en un amplio rango de velocidades, etc. pero tienen costes elevados, a elevadas velocidades la eficiencia reduce porque las pérdidas en el estator empiezan a ser importantes, etc.
- Motor asíncrono o de inducción: la principal diferencia de este tipo de motores es que la corriente que circula por los devanados, generalmente situado en el rotor, debe a la fuerza electromotriz por la acción del flujo del estator. En este caso, el rotor en lugar de tener imanes sino simples laminas apiladas y conectadas con conductores periféricos (que forma una jaula de ardilla). Por otro lado, la velocidad de sincronismo no es la impuesta por la frecuencia de la red. Este tipo de motores son económicos, compactos, robustos, control sencillo, poco mantenimiento, etc. pero que tienen una densidad de potencia menor que el anterior y menor eficiencia a baja velocidad.

Por todo ello, se decide que las mejores opciones son los motores síncronos con imanes permanentes y los motores asíncronos.

4.1.2. Características y tipos de tecnologías de las baterías

La forma de almacenamiento de energía en los vehículos eléctricos es mediante baterías de tracción, cuyo funcionamiento se basa en la producción de energía eléctrica mediante reacciones químicas de oxidación-reducción que se dan en su interior.

Hoy en día existen varios tipos de baterías, por lo que para elegir la mejor opción se deben comparar los principales parámetros a la hora de elegir el tipo de batería (Torrejón Pérez, 2010), entre los que destacan:

- Potencia: expresada en W/kg, y representa la capacidad de dar potencia en el proceso de descarga.
- Autodescarga: es la pérdida de capacidad de una batería con respecto a la capacidad nominal (en un periodo de tiempo de un mes, normalmente), cuando se mantiene en circuito abierto.
- Eficiencia energética: expresada en %, representa la fracción de energía que devuelve la batería respecto a la energía que ha sido necesaria para cargarla.
- Energía específica: expresada en Wh/kg, y representa la energía que puede suministrar por cada kg. A mayor energía específica pesará menos la batería y se podrá tener mayor autonomía, para un mismo peso.
- Coste: precio de las baterías.
- Ciclo de vida: son los ciclos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser sustituida. A mayor ciclo de vida, más durará y se dispondrá de mayor tiempo para compensar los costes iniciales.
- Efecto memoria: es un fenómeno por el cual reduce la capacidad de las baterías debido a cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo.

Hay diversos tipos de baterías (Peña Ordóñez, 2011), que se han utilizado en vehículos eléctricos, de las que podemos destacar:

- Plomo-ácido: es la más antigua y ha sido la más utilizada en vehículos convencionales. Son de bajo coste, tienen buena respuesta en frío, pero son pesadas, el plomo es tóxico y tienen capacidad de recarga lenta. Actualmente se están dejando de utilizar para suministrar energía al motor eléctrico.
- Níquel-cadmio: son bastante utilizadas porque son más fiables, pero su elevado coste de adquisición y su efecto memoria no los convierte en la mejor solución como batería de un vehículo eléctrico⁴¹.
- Baterías de litio: tienen más del doble de densidad energética que las de níquel-cadmio pese a que son tres veces más pequeñas. Se presume que son las mejores posicionadas para un vehículo eléctrico. Algunas de sus características son que tienen un ciclo de vida entre 400 y más de 1000 cargas y descargas, una energía específica entre 100 y más de 200 Wh/kg y no requieren casi mantenimiento, pero que deben estar almacenadas en condiciones óptimas debido a su poca resistencia a altas temperaturas e impactos.

En la siguiente tabla se pueden ver algunas de las características de las tecnologías de baterías anteriormente descritas y sus variantes.

Tabla 8. Tabla comparativa de los diferentes tipos de baterías.
Elaboración propia basada en (Peña Ordóñez, 2011; Santamarta, 2009).

Tecnología	Pb-ácido	Ni-Cd	Ión-Litio [LiCoO ₂]	Li-Po Polímero de litio
Autodescarga (%/mes)	3%-20%	10%	8%	5%
Ciclos de vida	500-800	1500-2000	400-1500	>1000
Ciclos de vida (para mantener el 80 % de su capacidad inicial)	500-600	1500	500-1000	500
Energía específica (Wh/kg)	30-40	40-60	100-250	130-200
Eficiencia energética	82,5%	72,5%	90%	90%
Robustez a impactos	Buena	M. Buena	M. Mala	M. Mala
Resistencia ante altas temperaturas	Media	M. Buena	M. Mala	M. Mala
Efecto memoria	Sin efecto	M. Alto	Sin efecto	Sin efecto
Mantenimiento	Bueno	Malo	Fácil	Fácil

Con todo ello, se presume que las baterías que se adaptan mejor a las necesidades son las baterías de litio, en especial la variante de polímero de litio (Torrejón Pérez, 2010).

Veamos ahora las diferentes posibilidades que las baterías ofrecen a la hora de recarga, si interesaría que fueran extraíbles e intercambiables o no lo sean, dependiendo del tipo de zona del parque natural y de la actividad laboral que se vaya a realizar:

- El hecho de ser baterías extraíbles e intercambiables supone muchas ventajas. Sobre todo, para evitar el tema del vandalismo y robos, pues se pueden extraer y llevarlas a casa para cargar, y así evitar que las roben por las noches. Ya que se teme que las baterías sean objeto de robo por su elevado precio pues se ha podido saber que en el

⁴¹ <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos>

embarcadero se ha sufrido robos. Otra ventaja de las extraíbles está en el tiempo de carga, no porque se tarde menos en cargar, sino por el hecho de que puedes intercambiar una descargada por otra cargada al instante. Por todo ello, optar por este tipo de baterías es buena idea si la barca se va a dejar en espacios abiertos al público, como en los embarcaderos que es lo más común, y en espacios en los que no se pueda contar con un punto de recarga cerca.

- El hecho de no ser extraíble ni intercambiable también supone ventajas. Sobre todo, por el tema económico, ya que al no ser necesario ser extraíble no se necesitan baterías con tanta densidad energética y se pueden usar baterías con materiales más pesados y, por lo tanto, más baratos. Estos tipos de tecnología son adecuados para lugares cerrados, en los que no se corra peligro de sufrir ni vandalismo ni robo. No obstante, en estos lugares cerrados, será necesario (o no) la instalación de postes eléctricos de recarga, dependiendo de la capacidad de las baterías y del tiempo disponible. Estos tipos de tecnologías son especialmente aptas para trabajos rutinarios en los que diariamente se haga la misma actividad laboral (por ejemplo, el trabajo de mantenimiento de un lago) y, por tanto, la demanda energética sea la misma, ya que así se podrá optimizar la potencia de los postes de carga y la capacidad de las baterías.

En el capítulo 6 se seguirá discutiendo qué tipo de baterías usar en cada caso.

4.2. Cálculo de la potencia del motor y la capacidad de las baterías

4.2.1. Planteamiento de ecuaciones

Para el cálculo de la potencia y capacidad de las baterías se plantean las ecuaciones (1) y (2) para obtener la energía útil que los sistemas de propulsión actuales (con motor térmico) y futuros (con motor eléctrico) son capaces de dar. Para ello se hará uso de los datos de la tabla 7 del capítulo anterior.

La ecuación (1) representa el recorrido que ha tenido que hacer la energía que entra en la cámara de combustión en forma química (energía química del combustible), pasa a través del motor de combustión (energía térmica) y se transmite al eje (energía mecánica), y éste a la hélice, que gira y hace variar la velocidad del agua que recibe y mueve la embarcación.

$$E_{\text{útil}} = l \cdot \rho \cdot PCI \cdot \eta_{MT} \cdot \eta_{PROP} \quad (1)$$

En la que:

- $E_{\text{útil}}$: es la energía obtenida en la combustión realmente destinada al movimiento de la barca durante el viaje (en kWh útiles en forma de energía mecánica).
- l : son los litros de gasoil consumidos en un viaje en barca que, según los datos recogidos de los viajes, el consumo medio es de 0,76 litros/viaje.
- ρ : es la densidad del gasoil⁴², que se considerará de 0,82 kg/l (a 15°C de temperatura).

⁴² Gasóleo clase B para uso marítimo. Se escoge el valor de 0,82 kg/l en lugar de cualquier otro por ser prudentes, porque realmente no es posible saber a qué temperatura exacta esta cuando se introduce en

- PCI : es el poder calorífico inferior, la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (combustión). En este término no se tiene en cuenta la energía que se pierde por la condensación del agua (agua que se forma al combinarse el hidrógeno del combustible con el oxígeno del aire). Con todo ello se escoge un valor de $11,80^{43}$ kWh/kg.
- η_{MT} : es el rendimiento del motor diésel. Es sabido que para los coches con MCI diésel el rendimiento medio está alrededor del 35 % (Payri & Desantes, 2011). En el caso de los barcos con motor diésel como norma general se cumple que a mayor tamaño del motor mayor eficiencia tiene, pudiendo alcanzar rendimientos alrededor de 55% en los motores grandes marinos y en motores diésel pequeños rendimientos del 25% (Ferreiro Castiñeira, 2016). Por todo ello, se prevé un rendimiento alrededor del 25%.
- η_{PROP} : es el rendimiento del sistema de propulsión. En él se tiene en cuenta la forma del casco, las hélices, el rendimiento mecánico en el eje, entre otras cosas (Bellver & Yebra, 2018). Para obtener un valor correcto se tendría que hacer un estudio completo del sistema de propulsión de la embarcación que excedería en mucho el alcance del TFG. En lugar de ello, se estima un rendimiento propulsivo constante del 50% (Ahadme Yahyai, 2017), propio de un sistema de propulsión intraborda con ejes (como el que se tiene en las barcas).

En la siguiente figura se muestran el camino que sigue la energía liberada por la combustión en el motor térmico que hace mover la hélice y provoca el movimiento de la embarcación.

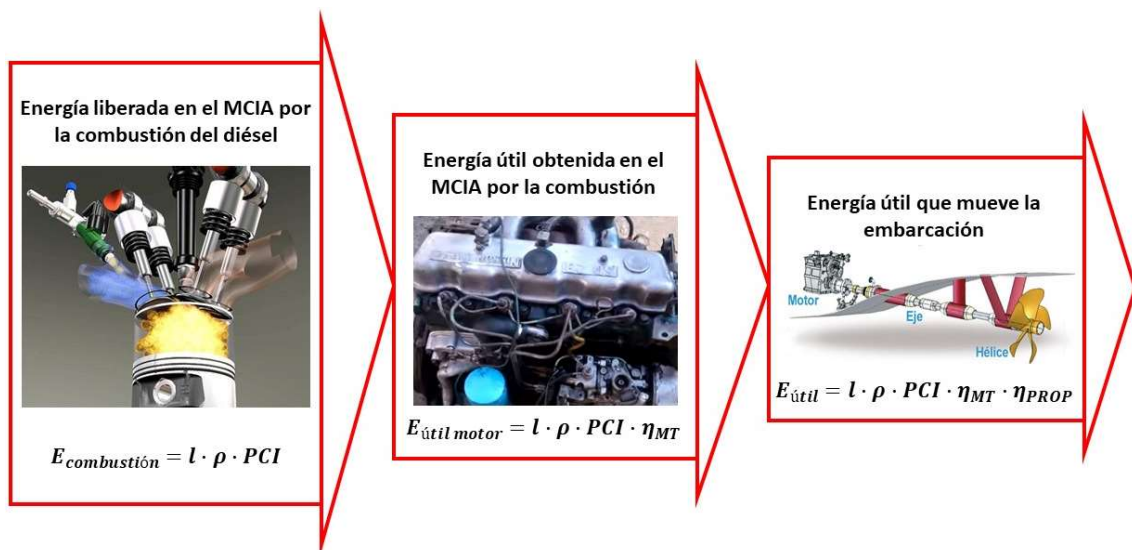


Figura 21. Cálculo de la energía útil de la combustión destinada al movimiento de la barca. Elaboración propia.

La ecuación (2) representa el recorrido que ha tenido que hacer la energía química almacenada en las baterías, cuyos compuestos son capaces de reaccionar e intercambiar electrones y que al circular por un circuito generan una corriente eléctrica, hasta convertirse en energía eléctrica que provoca el giro de la hélice y el movimiento de la embarcación. La corriente eléctrica,

el motor. Es un valor obtenido del Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes:

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-2779&p=20151205&tn=1#aniii>

⁴³ <https://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas>

resultado de las reacciones químicas en las baterías, es recogida a través del controlador y otros componentes de la electrónica de potencia y es entregada al motor eléctrico. Esta corriente induce un campo magnético giratorio en el estator o rotor (dependiendo de si es síncrono o asíncrono) que hace girar el eje. Por último, el eje le transmite el movimiento giratorio a la hélice mediante transmisión mecánica (energía mecánica).

$$E_{\text{útil}} = \left(\sum P \cdot t \right) \cdot \eta_{ME} \cdot \eta_{CONTR} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{PROP} \quad (2)$$

En la que:

- $E_{\text{útil}}$: es la energía obtenida en las reacciones electroquímicas de la batería realmente destinada al movimiento de la barca durante el viaje (en kWh útiles en forma de energía mecánica). El motor eléctrico tiene que proporcionar la misma energía útil en valor obtenida del motor térmico, calculada con la ecuación (1), si se quiere tener las mismas prestaciones.
- η_{ME} : es el rendimiento del motor eléctrico. Se sabe que depende de la carga que se esté transportando, porque a mayor carga tendrá que dar más potencia P (y a su vez más par T), que a su vez influye en el régimen del motor Ω (revoluciones por minuto) y en el rendimiento del motor. En la ecuación (3) se muestra la relación del par, régimen y potencia. Por otro lado, en un viaje la carga puede variar, dependiendo de si hay más viento o más corriente, y también entre viaje y viaje si hay más o menos personas a bordo, el rendimiento puede variar. Por ello, se asumirá un rendimiento normal y constante de 90% (Perpina & Martin, 2015).

$$P = T \cdot \Omega \quad (3)$$

- η_{CONTR} : es el rendimiento del controlador (convertidor) electrónico, el encargado de garantizar un correcto funcionamiento entre las baterías y el motor. En este caso, en el que la fuente de energía son las baterías, que generan corriente en continua, y que se dispone de un convertidor que lo pasa a corriente alterna (para alimentar a un motor asíncrono o síncrono), al convertidor también se le puede llamar inversor. Fundamentalmente, está basado en el funcionamiento de un circuito electrónico, dado unos parámetros de entrada, compuesto por componentes como los diferentes tipos de diodos, transistores y tiristores que existen, entre otros (Mañana Canteli, 2013). Con este tipo de controladores existe la posibilidad de controlar tanto la frecuencia como el valor eficaz de la tensión o intensidad de salida. Respecto al rendimiento, se asumirá un valor genérico de 95%, típico de un convertidor de un vehículo eléctrico (Rodríguez Cea, 2017).
- η_{BAT} : es el rendimiento de las baterías, la fracción que devuelve en proporción a la energía que ha sido necesaria para cargarla. Es superior al 90% en el peor de los casos. Debido a que el rendimiento depende de diversos factores como la temperatura ambiente (los dispositivos electrónicos son sensibles a elevadas y bajas temperaturas), el tipo de descarga que se realice (cuanto más profundas sean las descargas y rápidas mayor corriente se demanda y mayor calor se genera por el efecto Joule), estado de las celdas que componen la baterías (si hay una celda más deteriorada que otra,

sobrecalentamiento en una zona u otros fenómenos perjudiciales), entre otros, se asume un rendimiento constante del 90% durante toda la vida útil de las baterías (Peña Ordóñez, 2011).

- $\sum P \cdot t$: es el sumatorio de la potencia que da el motor eléctrico (kW) multiplicado por el intervalo de tiempo en que está dando esa potencia, a lo largo del viaje en barca. Por ende, en un viaje la batería debería tener la capacidad (kWh) suficiente para garantizar un correcto funcionamiento y abastecer la demanda energética que supone la potencia que da el motor durante un tiempo determinado. La capacidad de las baterías (C_{BAT}) es una de las incógnitas y parámetros a dimensionar en el proyecto, y debe ser:

$$C_{BAT} = \sum P \cdot t \quad (4)$$

- η_{PROP} : es el rendimiento del sistema de propulsión. El sistema de propulsión no se cambiará, sea que esté accionado por un motor térmico o eléctrico, ya que por normativa las embarcaciones en el lago deben ser intraborda de ejes. Además, para barcos pequeños este sistema de propulsión da buen resultado⁴⁴. Por ello, el rendimiento del sistema de propulsión será el mismo que el descrito en la ecuación (1), de 50 %.

En la siguiente imagen se muestra el camino que sigue la energía obtenida en la batería por las reacciones químicas en el proceso de descarga hasta llegar al sistema de propulsión, y el cálculo de la energía útil que produce el movimiento de la barca.

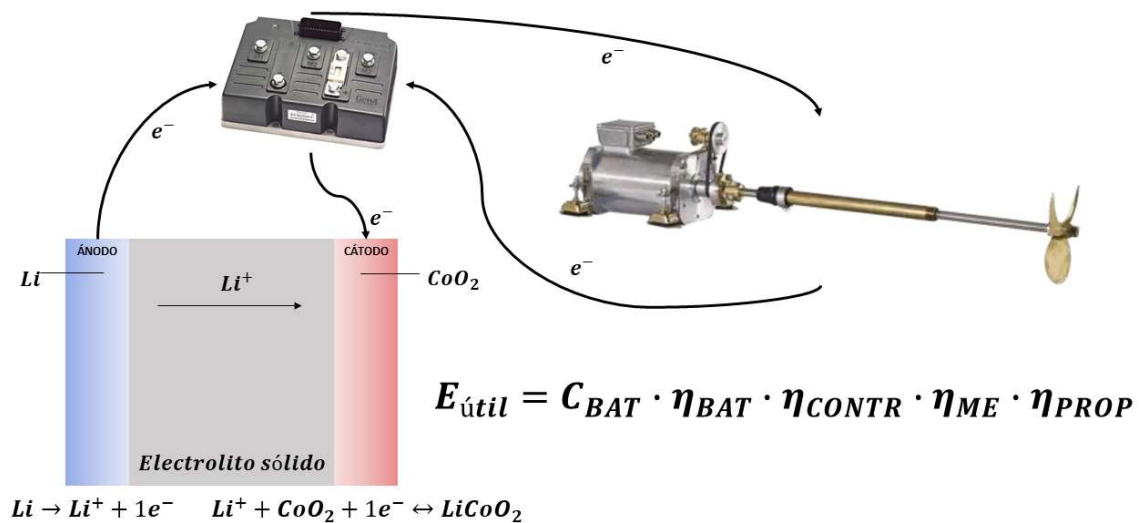


Figura 22. Cálculo de la energía útil de la batería destinada al movimiento de la embarcación. Elaboración propia.

4.2.2. Resolución de las ecuaciones (1) y (2)

Para calcular la energía útil mediante la ecuación (1) se tienen todos los datos necesarios, el consumo de gasoil por viaje (l/viaje) que se encuentra en la tabla 7. Con todo ello, sustituyendo

⁴⁴ http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Transmisiones/Motorizacion-Transmisiones.asp

todos los valores en la ecuación (1), se obtiene que para mover la embarcación se necesita una energía útil de media de 0,91 kWh.

Conocido el valor de la energía útil y del resto de parámetros de la ecuación (2), se deja como única incógnita la capacidad de las baterías necesaria. Así pues, despejando de dicha ecuación la capacidad de las baterías obtenemos la siguiente expresión:

$$C_{BAT} = \frac{E_{\text{útil}}}{\eta_{ME} \cdot \eta_{POT} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{PROP}} \quad (2)$$

Sustituyendo todos los valores obtenemos que las baterías necesitan una capacidad de 2,37 kWh para un viaje. Por lo tanto, para un día de trabajo normal, en los que se llegan a hacer de 3 a 5 viajes, haría falta una capacidad de 11,87 kWh (para 5 viajes, por ejemplo). Esto supondría un coste de alrededor de 4800 € y un peso total de 48 kg, que si se quisiera tener un par de baterías en lugar de 1 sola el peso por batería sería de 24 kg (a priori demasiado pesadas para ser transportadas con “comodidad”).

4.2.3. Balance de fuerzas

A modo de comprobación, se plantea otra forma de obtener la energía útil necesaria para navegar, pero desde el punto de vista de las fuerzas que tiene que vencer la embarcación para avanzar y navegar a la velocidad deseada. Se deduce que la fuerza que tendrá que realizar el motor tiene que ser, como mínimo, igual al sumatorio de las fuerzas que se oponen al movimiento si se quiere ir a velocidad constante, y superior si se quiere ir a mayor velocidad.

En teoría la potencia de los motores eléctricos debería ser muy parecida o igual a la potencia actual de los motores de gasoil para que pueda ofrecer las mismas prestaciones, no obstante, se prevé que las potencias de los motores térmicos actuales estén sobredimensionadas. Por ello, mediante el siguiente balance de fuerzas (ecuación (5)) no sólo se calculará la fuerza que tiene que realizar el motor para vencer las fuerzas de rozamiento del agua y del aire (en invierno el viento alcanza elevadas velocidades en el lago), sino también la potencia necesaria en el motor eléctrico y la capacidad de deben tener las baterías. Por otro lado, el balance de fuerzas se podría decir que representa la ecuación de movimiento de la barca.

$$F_{motor} - F_{D\ agua} - F_{D\ viento} = m \cdot a \quad (5)$$

Hay que destacar que, ya que se han recogido datos de la velocidad de la embarcación a cada segundo, el balance de fuerzas se resolverá a cada segundo.

El primer término del balance que se va a analizar es la fuerza de arrastre del agua ($F_{D\ agua}$), que es la fuerza necesaria para vencer la resistencia que opone el agua en la dirección del flujo al avance de la barca debida a los efectos combinados de las fuerzas de la fricción y fuerzas de presión. Se calculará mediante la siguiente ecuación:

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

En la que:

- ρ : es la densidad del agua del lago que, al ser agua dulce, se considera 1000 kg/m^3 . En realidad, sería un poco mayor por tener sustancias disueltas en pequeñas cantidades, pero no se ha podido encontrar la densidad exacta del lago.
- A : es el área mojada de la barca, representa toda la superficie del barco sumergida en el agua. Se sabe que podría variar en función de los pasajeros a bordo ya que puede variar desde los 4 (valor mínimo de pasajeros impuesto por los trabajadores para obtener un mínimo de beneficios) y 40 pasajeros, variando el calado. No obstante, se considerará constante, y se calculará con los parámetros que se muestra en la siguiente figura.

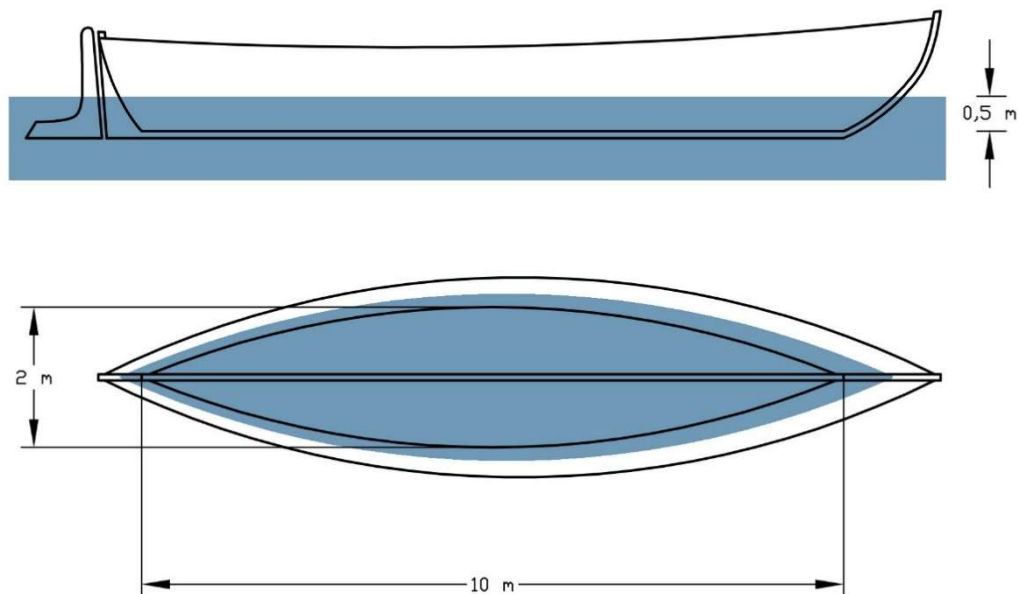


Figura 23. Dimensiones de la barca y área mojada. Elaboración propia.

Las dimensiones de la barca son de 12 m de eslora, mientras que la eslora de flotación⁴⁵ es de 11 m, el calado es de 50 cm y la manga de 2,9 m. La parte inferior del barco tiene 10 m de eslora y 2 m de manga, que según los datos del AutoCAD encierra un área de $13,44 \text{ m}^2$. Por otro lado, como se puede ver, las paredes laterales sumergidas del barco tienen poca curvatura, por lo que el área mojada de las paredes laterales se podría aproximar a dos trapecios multiplicado por un factor de curvatura, con el fin de calcular aproximadamente el área de la superficie sumergida. Se elige un factor de curvatura de 1,8, teniendo en cuenta también otras superficies mojadas, como la del timón que controla la dirección del barco. Con todo ello, el área mojada es:

$$A_{mojada} = 10,5 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 1,8 + 13,44 = 32,34 \text{ m}^2 \quad (7)$$

⁴⁵ La eslora de flotación es la longitud de barco desde el plano de flotación medida entre proa y popa.

- $V(t)$: es la velocidad relativa a la que circula la barca sobre el agua. Es decir, es la suma de las velocidades de la barca (V_{barca}) y el agua (V_{agua}) que van en la misma dirección de avance. Debido a la poca profundidad del lago (1 metro de media), a que los manantiales de agua naturales están sumergidos y no produce corrientes de agua fuertes, y a que la principal fuente de agua (la conexión con el río Júcar) está situada al sur de la Albufera y no exactamente en El Palmar, se puede decir que la velocidad del agua durante los viajes es muy próxima a cero. Por tanto, V será V_{barca} en m/s.
- C_D : es el coeficiente de resistencia de la parte de la barca que está en contacto con el agua. Es la suma de los coeficientes debido a los efectos de fricción ($C_{D,fricción}$) y a los debido a presión ($C_{D,presión}$).

El coeficiente de arrastre depende del número de Reynolds (Re), número adimensional usado para caracterizar el movimiento de un fluido y cuyo valor determina si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento⁴⁶. Para simplificar los cálculos se considera que la parte inferior de la barca es una placa plana lisa, con zona turbulenta y zona laminar. Cabe resaltar que para el caso de un flujo paralelo sobre una placa plana (el caso del flujo del agua sobre la parte inferior de la barca), el arrastre debido a la presión es cero, y por tanto el coeficiente de arrastre es igual al coeficiente de arrastre debido a fricción ($C_D = C_{D,fricción} = C_f$) (Çengel, Cimbala, & Murrieta, 2007). En la siguiente ecuación se muestra como varía C_f en función de Re y representa el coeficiente de fricción promedio sobre toda la placa (Industrials & Bergad, 2006).

$$C_f(t) = \frac{0,074}{Re_L(t)^{\frac{1}{5}}} - \frac{1740}{Re_L(t)} \quad 5 \cdot 10^5 \lesssim Re_L \lesssim 10^7 \quad (8)$$

El cálculo del número de Reynolds se hará para el extremo final de la placa y se usará la ecuación tradicional (ecuación (9)). Para ello se sabe la velocidad a la que circula la barca a cada momento y que la longitud de la barca (L) es de 12 m de largo y que la viscosidad cinemática (ν) del agua⁴⁷ es de $1,036 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $19 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura media del agua en Valencia⁴⁸).

$$Re_L(t) = \frac{V(t) \cdot L}{\nu} \quad (9)$$

Dada la simplificación que se ha hecho, la de suponer que la parte inferior del barco se trata de una placa plana, no se han tenido en cuenta otras fuerzas del agua que intervienen, como la resistencia a formación de las olas o resistencia de arrastre por presión (que al ser placa plana es 0). Esta simplificación es aceptable porque a bajas velocidades, como es el caso, casi toda la resistencia es de fricción (Ahadme Yahyai, 2017). No obstante, a modo de tener en cuenta todas estas fuerzas no consideradas, se asumirá que a bajas velocidades la resistencia por fricción representa alrededor del 85% de la fuerza total que ejerce el agua en oposición al movimiento de la embarcación (Juan-García Aguado, 1993). Así pues, la fuerza total de oposición del agua al movimiento de la embarcación será:

⁴⁶ Para placas planas la transición de laminar a turbulento comienza casi alrededor de un Re cercano a 10^5 , no obstante, un valor aceptable para el número de Reynolds crítico es $5 \cdot 10^5$.

⁴⁷ http://www.civil.frba.utn.edu.ar/Materias/hidraulica/archivos/tablas_graficos.pdf

⁴⁸ <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/valencia-845/>

$$F_{T\ agua}(t) = \frac{F_{D\ agua}(t)}{0,85} \quad (10)$$

El segundo término es la fuerza de arrastre del aire, que representa la fuerza necesaria para vencer la resistencia que opone el aire (viento) al avance de la barca. Se considerará constante y para una velocidad del viento cercana a la máxima registrada en la Albufera de Valencia. Se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$F_{D\ viento}(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V(t)^2 \quad (11)$$

En la que:

- ρ : es la densidad del aire. La densidad depende de la temperatura, presión, humedad, entre otros factores, pero que por simplificar se puede asumir que es de $1,225^{49}$ kg/m³.
- $V(t)$: es la velocidad relativa a la que circula la barca en relación con el viento (m/s). Es la suma de la velocidad del viento y la velocidad de la barca. La velocidad del viento se considerará constante durante el trayecto, y será igual a los valores de velocidad del viento registrados en la estación meteorológica del Tancat de la Pipa⁵⁰ del día en el que se está haciendo las mediciones.
- A : es la proyección del área del frente de ataque, es decir, el área frontal del barco que se enfrenta al viento. Se estima⁵¹ que sea de $1,71$ m² ($= 2,85 \times 0,6$ m²), pues frontalmente el barco tiene una manga (anchura) de $2,85$ m y un francobordo⁵² de 60 cm, más el área frontal que ocupan los pasajeros en cada lado del barco que se estima que es de $0,3$ m² ($= 2 \times 0,25 \times 0,6$ m²). En tiene una proyección del área del frente de ataque de $2,01$ m².
- C_D : es el coeficiente de resistencia de la parte de la barca que está en contacto con el aire. Para obtener el coeficiente de arrastre aerodinámico correctamente se debería realizar pruebas en un túnel de viento o mediante programas CFD⁵³ y aun así no sería del todo exacto pues el posicionamiento de las personas en el barco también influencia sobre el coeficiente, pudiendo variar en cualquier momento. Así pues, debido a que es imposible saber con exactitud el valor del coeficiente pues puede variar en cada viaje en barca y en cada momento del viaje y a que este cálculo excede el alcance del TFG, se estimará un valor del coeficiente. De esta manera, se utilizará un coeficiente de arrastre parecido al de un *tunnel boat*⁵⁴ (Reif & Guenther, 1978), un velero (Jansen, van Deursen, & Howe, 2012) y busques petroleros (Lewandowski, 2004), asumiendo un valor de $0,7$.

El tercer término es la fuerza resultante de la fuerza aplicada por el motor y restar la fuerza de arrastre del agua y el viento, y representa la fuerza de inercia de la embarcación. La inercia de un cuerpo se define como la propiedad que tienen los cuerpos de permanecer en su estado

⁴⁹ <http://diccionario.raing.es/es/lema/densidad-del-aire>

⁵⁰ <https://www.avamet.org/mx-records.php?id=c15m250e16>

⁵¹ Se estima el área como el ancho por la altura aparente porque como se ha visto anteriormente, las paredes laterales no tienen casi curvatura. Por lo ello, la proyección del área del frente del barco se puede considerar como un rectángulo, más el área frontal de los pasajeros a bordo.

⁵² Distancia entre la línea de flotación y la cubierta estanca más alta.

⁵³ Dinámica de fluidos computacional.

⁵⁴ Barco que circula a mucha velocidad con un casco característico diseñado para planear sobre el agua.

actual de reposo o movimiento relativo, es decir, la resistencia que opone la materia al modificar su estado de movimiento. Se calcula mediante la 2ª ley de Newton:

$$F(t) = m \cdot a(t) \quad (12)$$

En la que:

- m : es la carga que se está transportando (en kg), la suma de la carga de la embarcación y de los pasajeros. Para ello se sabe que el peso de la barca es alrededor de 1250 kg y que la ocupación máxima de la barca es de 40 personas. Suponiendo un peso medio por persona de 80 kg, la máxima carga que se podría llegar a transportar es alrededor de 4500 kg. Así pues, la carga m se podría poner en función de los pasajeros a bordo (N_{pas}):

$$m = 1250 + 80 \cdot N_{pas} \quad (13)$$

- a : es la aceleración de la barca, es decir, la variación de la velocidad de la embarcación (en m/s^2). Como el balance de fuerzas se calculará a cada segundo del trayecto, el periodo Δt será de 1 segundo y ΔV la diferencia de velocidad del momento menos la velocidad del momento anterior (en m/s). Se calculará de la siguiente manera:

$$a(t) = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V(t) - V(t - 1)}{1} \quad (14)$$

Dada la definición de fuerza de inercia, se puede dar el caso de que la aceleración sea positiva (se está aumentando la velocidad) y que la inercia esté actuando como otra fuerza más que hay que vencer, o que sea negativa (se está reduciendo la velocidad) y que la inercia de la embarcación actúe como una fuerza motriz pues se opone a que la embarcación frene y disminuya la velocidad. Un claro ejemplo de este último caso es que estando ya en el final del trayecto en barca, a 40-50 metros de llegar al embarcadero, los trabajadores paran el motor y con la inercia que tiene la barca se consigue llegar al punto de parada.

El último término del balance de fuerzas es la fuerza útil que aplica el sistema de propulsión (F_{motor}) y que vence las fuerzas que se oponen al movimiento de la barca. Se calcula a partir de las otras fuerzas, despejando el término F_{motor} de la ecuación (1), como se muestra a continuación:

$$F_{motor}(t) = F_{D\ agua}(t) + F_{D\ viento}(t) + m \cdot a(t) \quad (15)$$

4.2.4. Correcciones en el cálculo del balance de fuerzas

A modo de adelantarse a los resultados, se evaluarán los posibles resultados. Puede darse el caso de que, como se ha dicho anteriormente, se esté acelerando y la inercia de la embarcación actúe como una fuerza más a vencer. También puede darse el caso de que se esté desacelerando la embarcación y que la fuerza de inercia actúe como una fuerza motriz que favorezca la

continuidad del movimiento. Ambos resultados pueden influenciar de manera diferente en el valor de F_{motor} .

Si la inercia cuando desacelera es menor que las fuerzas de arrastre del agua y el viento F_{motor} será positivo, mientras que si la inercia es mayor que las fuerzas de arrastre del agua y el viento F_{motor} resultará en un valor negativo. Y esto es lo que se ha observado una vez que se ha resuelto el balance de fuerzas para cada segundo del trayecto. Ha habido momentos en los que F_{motor} ha resultado negativo, lo que significa que el sistema de propulsión ha dejado de trabajar como una fuerza motriz y ha actuado como un almacén de energía, en el que se ha guardado energía, algo que no puede ser.

En la realidad, el sistema de transmisión actual no puede almacenar energía ya que no se dispone ni de volantes de inercia ni de ningún otro tipo de mecanismo de almacenamiento de energía. Por esto, y teniendo en cuenta que la embarcación circula a velocidad constante durante casi todo el trayecto, se decide que en los momentos en que la embarcación desacelera (aceleración negativa) la fuerza útil que tiene que hacer el sistema de propulsión es solamente la necesaria para vencer las fuerzas de arrastre del agua y el viento. Es decir, como si la aceleración fuera nula (velocidad constante). A continuación, se muestra lo que se está diciendo:

$$F_{motor} = F_{D\ agua} + F_{D\ viento} + m \cdot a \quad \text{si } a < 0 \quad (16)$$

A modo de comentario, se prevé que la instalación de un volante de inercia u otro mecanismo de almacenamiento de energía relacionado con la inercia no resulte rentable, pues son pocos los momentos en los que se podría aprovechar la inercia para almacenar energía. Además, en una de las desaceleraciones más favorables para ello, cuando se llega al embarcadero, se para el motor y se aprovecha la misma inercia del barco para llegar al destino.

Por otro lado, dado que la aplicación Matlab Mobile Sensor Data recoge datos de velocidad en cada segundo, se observa en repetidas ocasiones durante un mismo trayecto que en un instante se registra que la embarcación está acelerando y al siguiente instante está desacelerando, mientras que si se está a bordo del barco la sensación es que se navega a velocidad constante. Es decir, se tiene "ruido" en la toma de datos, por lo que se decide aplicar un filtro en las velocidades. Por lo que la velocidad corregida en el instante t vendrá en función de la velocidad actual ($V(t)$), de las velocidades de los 2 momentos anteriores ($V(t - 1)$, $V(t - 2)$) y de los 2 momentos posteriores ($V(t + 1)$, $V(t + 2)$) de la siguiente manera:

$$V_{corregida}(t) = \frac{V(t + 2) + V(t + 1) + V(t) + V(t - 1) + V(t - 2)}{5} \quad (17)$$

Con ello, en las ecuaciones anteriores y posteriores $V(t)$ se entiende como la velocidad corregida, una vez que se ha aplicado el filtro de la ecuación (17).

4.2.5. Cálculo de la potencia del motor eléctrico y capacidad de las baterías

De esta manera, se resuelve el balance de fuerzas para cada segundo del trayecto en barca. Posteriormente, se calcula la potencia útil que el sistema de propulsión ejerce sobre la embarcación para vencer las fuerzas resistentes de la siguiente manera:

$$P_{\text{útil}}(t) = F_{\text{motor}}(t) \cdot V(t) \quad (18)$$

Estando $P_{\text{útil}}(t)$ en kW, $F_{\text{motor}}(t)$ en kN y $V(t)$ en m/s.

Por un lado, para saber la potencia que el motor eléctrico debería dar, para mantener las mismas prestaciones que el motor térmico, se deben aplicar los rendimientos energéticos anteriormente descritos relativos a la ecuación (2). De la siguiente forma se obtiene la potencia que el motor eléctrico tendría que dar para propulsar la embarcación a cada instante:

$$P(t) = \frac{P_{\text{útil}}(t)}{\eta_{ME} \cdot \eta_{POT} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{PROP}} \quad (19)$$

De esta manera, además de tener una curva de velocidad, también se obtiene una curva de potencia eléctrica que el sistema de propulsión tendría que dar a cada segundo. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se muestra un ejemplo de ambas las curvas que seguiría la embarcación durante un trayecto:

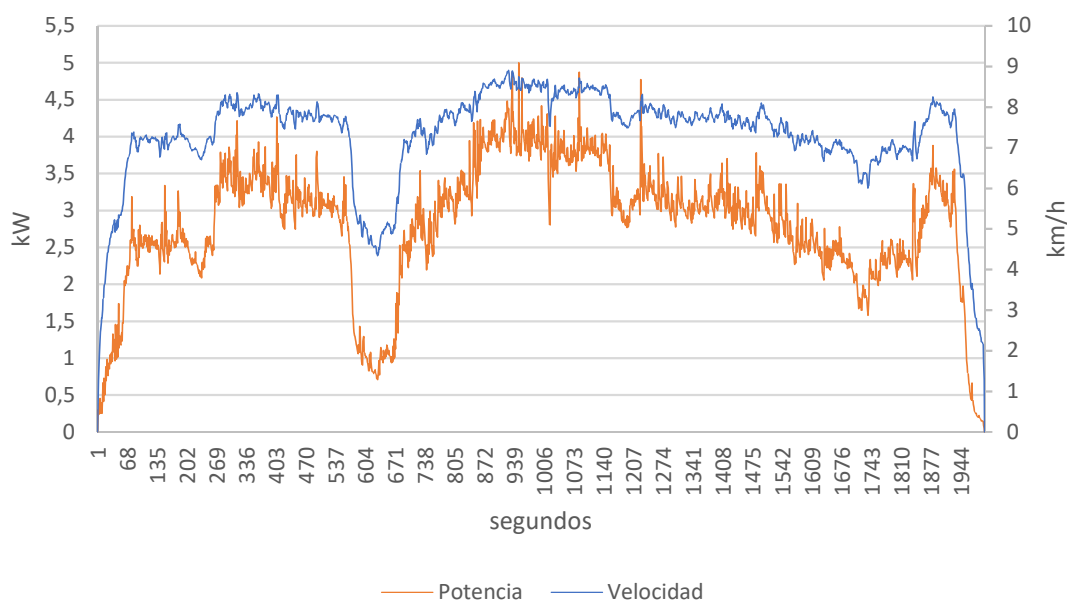


Figura 24. Ejemplo de curva de velocidad y potencia eléctrica.

Por otro lado, la energía eléctrica que se destinaría al movimiento de la embarcación sería el área encerrada por la curva de potencia. Hay muchas maneras de obtener el área encerrada por una curva pero se usará el método de los trapecios, gracias a la facilidad de cálculo (Krantz, Steven George, & Krantz, 2003), que no es más que el sumatorio de todas las semisumas de los valores de potencia del momento y el momento anterior multiplicado por el intervalo de tiempo de cálculo (que será de un segundo ya que el balance de fuerzas se ha calculado para cada segundo).

No obstante, la energía se obtendría en kW, por lo que se tendrá que dividir por 3600 para obtener la energía en kWh, pues 1 hora son 3600 segundos. Así pues, la energía eléctrica total destinada al movimiento de la embarcación (que es igual a la capacidad que deberían tener las baterías C_{BAT}) se calcula de la siguiente manera:

$$C_{BAT}(kWh) = \left(\sum \frac{P(t) + P(t-1)}{2} \cdot 1 \right) \cdot \frac{1}{3600} \quad (4)$$

Por otro lado, para obtener la energía total útil $E_{\text{útil}} (kWh)$ se realiza el mismo cálculo anterior⁵⁵, solo que con la curva de $P_{\text{útil}}(t)$. Una vez que se ha calculado la energía total útil, la ecuación (1) se podría utilizar para calcular el rendimiento que tendría el motor diésel, según los cálculos realizados mediante el balance de fuerzas, pues se tienen todos los datos necesarios y se podría despejar en función del resto de parámetros y así sacar algunas conclusiones. Así pues, de la siguiente manera se estima el rendimiento del motor diésel:

$$\eta_{MT} = \frac{E_{\text{útil}}}{\eta_{PROP} \cdot l \cdot \rho \cdot PCI} \quad (1)$$

Una vez que se han descrito los pasos para calcular los parámetros de interés, y teniendo en cuenta los datos de los viajes recopilados en la tabla 7, se trasladan las ecuaciones anteriores a una hoja Excel para cada viaje y se realizan los cálculos. En la siguiente tabla se muestra los resultados de los cálculos en cada viaje:

Tabla 9. Resultados de los parámetros importantes mediante el balance de fuerzas.

Viajes	1	2	3	4	5	6	Media
$E_{\text{útil}}(kWh_u)$	0,310	0,301	0,306	0,333	0,304	0,325	0,313
$C_{BAT}(kWh_e)$	0,805	0,781	0,796	0,865	0,791	0,845	0,814
$P_{med}(kWe)$	1,367	1,286	1,265	1,429	1,420	1,526	1,382
$P_{max}(kWe)$	5,893	3,518	7,774	7,232	3,689	3,164	5,212
$\eta_{MT}(\%)$	12,80	9,56	8,12	8,09	7,40	7,45	8,91

4.2.6. Discusión de los resultados

En primer lugar, llama la atención el rendimiento del motor diésel de 8,9 %, porque se había estimado que fuera del 25 %, pero era de esperar debido a la antigüedad del modelo del motor. Se trata del motor Nissan SD23, utilizado y fabricado entre los años 1980-1986 para las camionetas Datsun 720. No hay que olvidar que la medida del consumo de combustible se realizó con un solo embarcadero, el embarcadero de El tío Pastilla, con el motor en concreto que tienen ellos.

No obstante, se sabe que la mayoría de los motores térmicos usados en las barcas de paseo turístico son motores reutilizados de camionetas antiguas de los desguaces, por su bajo coste. Además, son motores hechos para coches y para dar potencias muy superiores a las que necesita realmente las barcas, es decir, que están alejadas de su punto óptimo de funcionamiento, por lo que el rendimiento del motor es bajo. Por todo ello, no es de extrañar de que el rendimiento del motor diésel resulte del 8,9 %, y que el rendimiento de los motores de los demás embarcaderos sea similar.

⁵⁵ Otra forma alternativa de obtener la energía útil total podría ser igualar las ecuaciones (1) y (2) y despejar el rendimiento del motor diésel. Se obtiene la siguiente expresión:

$$\eta_{MT} = \frac{C_{BAT} \cdot \eta_{ME} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{CONTR}}{l \cdot \rho \cdot PCI}$$

En segundo lugar, se observa que se necesita mucha menos potencia que la que es capaz de dar el motor diésel, cuya potencia nominal es de 54 kW a 4300 rpm⁵⁶. Por tanto, se podría decir que el motor diésel está sobredimensionado para el funcionamiento de las barcas de paseo turístico de El Palmar. Por otro lado, el motor eléctrico tendría que dar alrededor de 1,4 kW_e de media durante el trayecto y como máximo una potencia de 7,8 kW_e. Por tanto, se elegirá un motor eléctrico que tenga buen rendimiento para esas potencias.

Por último, se necesitaría una capacidad media alrededor de 0,814 kWh_e por viaje. Se sabe que de media se realizan de 3 a 5 viajes al día durante todo el año, excepto los domingos de verano en los que se llega a realizar de 6 a 8, e incluso llegando a 10. Por tanto, la capacidad necesaria para los días de temporada alta serán los 0,814 kWh_e multiplicado por el número de viajes, que si en un domingo de verano normalmente se hacen 8⁵⁷ viajes la capacidad necesaria de las baterías será de 6,51 kWh_e. A modo de dar mayor seguridad de suministro, se pretende aplicar un factor de seguridad del 20%, sobredimensionando las baterías hasta un valor alrededor de 7,81 kWh_e.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la energía específica de las baterías eléctricas de ion-litio del mercado⁵⁸ ronda los 0,25 kWh/kg, una batería de 7,81 kWh_e de ion-litio tendría un peso de 32 kg. Para una mayor comodidad en el transporte de las baterías se propone que, en lugar de tener una batería grande, se disponga de un conjunto de 2 baterías. Con ello, la capacidad y peso de cada batería sería alrededor de 3,91 kWh_e y 16 kg, cada una.

4.2.7. Selección del modelo de baterías, motor y controlador

Primeramente, se elige una tensión de trabajo de 48 V para evitar demasiados requerimientos de seguridad⁵⁹. Por tanto, las características de las baterías serán de 48 V y 162,75 Ah.

Para la elección de las baterías se ha contactado con varias empresas que fabrican las fabrican a medida y se les ha pedido presupuesto. Finalmente, se ha optado por las baterías que ofrece la empresa *tutiendaenergética*, que ofrecen un precio de venta de 3651,54 € (IVA incluido).

Para la elección de los motores se han evaluado varios motores que se adaptan al rango de potencias y que son aptos para el proyecto. Finalmente, se ha optado por el pack “motor eléctrico + controlador/potenciómetro” 4 WG, motor síncrono de imán permanente, que ofrece la empresa E-TECH⁶⁰ y que tiene un precio de 5043 € (IVA incluido).

Otros datos de interés y las fichas técnicas se encuentran en el ANEXO 2.

⁵⁶ <https://www.engine-specs.net/nissan/sd23.html>

⁵⁷ Que las baterías estén dimensionadas para 8 viajes, cuando normalmente hacen de 3 a 5 viajes a lo largo del año, es bueno para la conservación de las baterías. Pues, aunque las baterías de ion-litio aguantan bien las descargas profundas, es mejor que se hagan cargas parciales para que se alarguen los ciclos de vida de carga de la batería. Al estar dimensionado para 8 viajes cuando habitualmente se hacen de 3 a 5 viajes, la descarga sería de alrededor del 50 %.

⁵⁸ <https://www.tutiendaenergetica.es/>

⁵⁹ https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf

⁶⁰ <https://starboats.eu/electric-drives/e-tech-wg-inboard-engines/>

4.3. Vías para la recarga de las barcas

Como se ha mencionado anteriormente, otro aspecto importante para tener en cuenta es cómo se van a cargar las baterías, y para ello existen dos posibilidades: que las baterías no sean extraíbles y que por tanto tenga que instalarse postes de recarga en puntos estratégicos (como el embarcadero municipal de El Palmar), o que las baterías si sean extraíbles y que se puedan cargar en el domicilio propio.

4.3.1. Baterías extraíbles

En el caso de que sean baterías extraíbles, respecto al equipo de carga, solamente se debería comprar un cargador que se adapte a las necesidades y condicionantes como el tiempo y la potencia que dispone el lugar donde se va a cargar.

En general, en una vivienda-piso en España de media se tiene una potencia eléctrica contratada de 4,4⁶¹ kW. Por otro lado, ya que se pretende cargar las baterías en la noche, se dispone de alrededor de 12-13 horas para cargar (en los días críticos de domingos de verano⁶²). Por tanto, suponiendo una potencia disponible de 4 kW durante la noche, y sabiendo que la potencia es la energía en un periodo de tiempo (ecuación (20)), es necesario que el cargador tenga una potencia mínima de 0,651 kW.

$$P(kW) = \frac{E(kWh)}{t(h)} \quad (20)$$

En principio, no habría ningún problema con la potencia contratada del piso-domicilio. Por otro lado, ya que la potencia eléctrica también se expresa como el producto de la intensidad y el voltaje (ecuación (21)), se busca un cargador cuyas características de voltaje e intensidad de salida cumplan con la potencia mínima de 0,651 kW.

$$P(kW) = U(V) \cdot I(A) \quad (21)$$

Con todo ello, comparando cargadores de diversos fabricantes y proveedores, se elige el modelo cuyas características de salida son 15 A y 58.8 V de la marca NX⁶³, apto para cargar baterías de 48 V, que tiene un precio de 335,74 € (IVA incluido). Este cargador tiene una salida tipo EU (enchufe normal), por lo que no habrá ningún tipo de problema para cargar las baterías en un piso. En el ANEXO 2 se muestra la ficha técnica del producto.

De acuerdo con la ecuación (21), este cargador tiene una potencia de 0,882 kW, mayor que 0,651 kW (mínima necesaria). Con ello, de acuerdo con la ecuación (20), la batería se cargaría

⁶¹ <https://www.europapress.es/economia/energia-00341/noticia-11-hogares-tiene-contratada-potencia-electrica-superior-necesaria-holaluz-20161028144624.html>

⁶² Véase los horarios habituales de los trabajadores, Capítulo 3.

⁶³ <http://www.all-batteries.es/cargadores-litio/46-8v-48-1v-pack-13s/15a.html>

en 8 h y 52 min (si se requiere carga completa). En el caso de un conjunto de 2 baterías de 3,91 kWh_e por batería, el tiempo de carga sería la mitad, es decir, de 4 h y 26 min.

Este tiempo de carga es interesante pues puede haber días en los que se necesite más capacidad que los 7,81 kWh. Por ejemplo, en los días en los cuales se llegan a realizar hasta 10 viajes⁶⁴, o cuando pasado el tiempo y los ciclos de cargas las baterías pierden parte de la capacidad inicial o si debido al cambio a propulsión eléctrica aumenten los viajes que hacen y se lleguen a hacer incluso más de 10 viajes en temporada alta, haría falta cargar las baterías. En esos casos, se tendría el tiempo suficiente pues se pueden cargar al mediodía en casa o entre viaje y viaje (si se dispone de corriente en el embarcadero), y así tener la suficiente capacidad ante toda la demanda energética pues están dimensionadas para 8 viajes (cuando las baterías están nuevas).

Otro escenario sería dimensionar para los días habituales del año, es decir, en los que se hace de 3 a 5 viajes normalmente. Esta solución sería mejor en base al precio y también en base a la comodidad del transporte (con un conjunto de 2 baterías cada una pesaría alrededor de 10 kg). No obstante, habría problemas para los momentos en los que se necesite más capacidad y las baterías no puedan almacenar y entregar tanta energía. Sin duda, la cuestión de dimensionar las baterías para los días de trabajo normal (3-5 viajes) o para temporada alta (6-8), o para el trabajo máximo posible (10 viajes), es un tema importante para discutir. Se continuará la discusión en el capítulo 6.

En resumen, se propone la solución de disponer un conjunto de 2 baterías de capacidad 3,91 kWh_e y un cargador para cada una.

4.3.2. Baterías no extraíbles

En el caso de que las baterías no sean extraíbles, una solución sería la instalación de postes de carga en un sitio estratégico (como el embarcadero municipal de El Palmar), en los cuales las barcas de paseo turístico, e incluso las de pesca, puedan ir a recargar las baterías.

Un sitio estratégico sería el embarcadero municipal de El Palmar, debido a la confluencia de las barcas de paseo turístico como las de pesca. Las coordenadas geográficas del embarcadero son 39°18'43.3" N y 0°19'12.5" W, latitud y longitud respectivamente. En el plano 1 se muestra la ubicación del embarcadero.

Antes de abordar el cálculo de la potencia y el número de postes a instalar, así como el cálculo de parámetros característicos de la instalación, se debe conocer la legislación aplicable, los tipos de carga que hay, evaluar la infraestructura de la distribución eléctrica, entre otras cosas.

4.3.2.1. Legislación aplicable

Primeramente, antes de instalar postes de carga se debe conocer la figura del gestor de carga en España. En el Real Decreto 647/2011⁶⁵ se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética. Entre los cuales destaca la obligación de

⁶⁴ Con la capacidad de 7,81 kWh no sería suficiente, aunque se ha sobredimensionado un 20 %. Para 10 viajes haría falta una capacidad de 8,14 kWh.

⁶⁵ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-8910>

tener suscrito un contrato de peaje de acceso con la empresa distribuidora por cada punto de conexión a la red, por cada acometida que se realiza para instalar cada instalación de recarga de vehículos eléctricos (IRVE).

Por otro lado, la legislación aplicable a los puntos de recarga son las siguientes:

- REBT-2002⁶⁶: Reglamento electrónico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias.
- UNE 20434⁶⁷: Sistema de designación de los cables.
- UNE EN 60269-1⁶⁸: Fusibles de baja tensión.
- UNE-HD 60364-4-43⁶⁹: Instalaciones eléctricas de baja tensión. Protección para garantizar la seguridad. Protección contra las sobrecorrientes.
- UNE-HD 60364-5-52⁷⁰: Instalaciones eléctricas de baja tensión. Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones.
- UNE EN 60898-1⁷¹: Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecorrientes.
- UNE EN 60909-0⁷²: Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Cálculo de corrientes.
- UNE-IEC/TR 60909-2⁷³: Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Datos de equipos eléctricos para el cálculo de corrientes de cortocircuito.
- UNE EN 60947-2⁷⁴: Aparatos de baja tensión. Interruptores automáticos.

4.3.2.2. Modos de recarga

Por otro lado, en el Real Decreto 842/2002⁷⁵, de 2 de agosto, se definen cuatro modos de recarga diferenciados por los valores de tensión e intensidad a los que se lleva a cabo la recarga:

- Modo de carga 1: conexión del vehículo eléctrico (VE) a la red de alimentación de corriente alterna mediante tomas de corriente normalizadas, con una intensidad no superior a los 16 A y tensión asignada en el lado de la alimentación no superior a 250 V de corriente alterna en monofásico o 480 V de corriente alterna en trifásico y utilizando los conductores activos y de protección.
- Modo de carga 2: conexión del VE a la red de alimentación de corriente alterna no excediendo de 32 A y 250 V en corriente alterna monofásica o 480 V en trifásico, utilizando tomas de corriente normalizadas monofásicas o trifásicas y usando los conductores activos y de protección junto con una función de control piloto y un sistema de protección para las personas, contra el choque eléctrico (dispositivo de corriente diferencial), entre el vehículo eléctrico y la clavija o como parte de la caja de control situada en el cable.
- Modo de carga 3: conexión directa del VE a la red de alimentación de corriente alterna usando un sistema de alimentación específico del vehículo eléctrico (SAVE), donde la

⁶⁶ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099&p=20190406&tn=1#ib-52>

⁶⁷ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0037589>

⁶⁸ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0042089>

⁶⁹ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0050710>

⁷⁰ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0059672>

⁷¹ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0047904>

⁷² <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0056871>

⁷³ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044799>

⁷⁴ <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059867>

⁷⁵ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099&p=20190406&tn=1#ib-52>

función de control piloto se amplía al sistema de control del SAVE, estando éste conectado permanentemente a la instalación de alimentación fija.

- Modo de carga 4: conexión indirecta del VE a la red de alimentación de corriente alterna usando un SAVE que incorpora un cargador externo en que la función de control piloto se extiende al equipo conectado permanentemente a la instalación de alimentación fija.

Con la instalación de los postes de carga los modos de carga posibles serían los 3 y 4.

4.3.2.3. Evaluación de la infraestructura de la distribución eléctrica

Los planos de la distribución eléctrica de la Albufera de Valencia han sido proporcionados por la empresa Inkolan⁷⁶. Empresa que proporciona información digital de las infraestructuras de agua, gas, electricidad, telecomunicaciones y redes municipales. En este caso, se ha solicitado información de la red eléctrica que alimenta el embarcadero de El Palmar. Con dichos planos, se ha podido saber que la línea eléctrica que pasa por el embarcadero y alimenta a la Trilladora del Tocayo⁷⁷ es de baja tensión (aérea), pero no se pudo saber si es trifásica o monofásica.

Tampoco se pudo confirmar si la línea es capaz de soportar la demanda energética y potencias que se prevén porque, aunque Inkolan ofrece vías de contacto con la empresa dueña de la infraestructura eléctrica de El Palmar (en este caso Iberdrola) no llegaron a contestar vía telefónica. Sí contestaron vía correo electrónico, pero se negaron a ayudar y proporcionar los datos de la capacidad de la línea eléctrica del embarcadero.

Por ello, a falta de datos, se supondrá que la línea es trifásica (400 V) y que la línea eléctrica tiene la capacidad necesaria.

4.3.2.4. Número de postes de carga a instalar

Como se había dicho, las baterías se dimensionan para los días de temporada alta en los cuales se hacen de 6 a 8 viajes, e incluso 10, y se tiene una demanda energética de 7,81 kWh de cada barca. Así pues, el tiempo de carga necesario de las baterías para las potencias más comunes de los postes de carga del mercado son:

Tabla 10. Tiempos de recarga de las baterías dependiendo de las potencias de los postes.

Tiempo de recarga de las baterías			
Potencia (kW)	3,6	7,2	22
Tiempo de carga (h:min)	2:10	1:05	0:21

Hay que destacar que los tiempos de carga anteriores son los mínimos que se pueden conseguir a potencia máxima, ya que los postes pueden variar la potencia para ajustarse al tiempo de carga deseado, si es que no se desea tanta rapidez. Para la elección de los postes se deberá tener en cuenta las horas disponibles para cargar y la demanda energética para los días más cargados de trabajo, en los días en los cuales se llega a realizar 10⁷⁸ viajes.

⁷⁶ <https://www.inkolan.com/>

⁷⁷ <http://www.arroceando.com/museo/la-trilladora-de-tocayo/#.XWcGXegzblU>

⁷⁸ 8 viajes porque es la media de viajes que se realizan los domingos de verano, días críticos de trabajo.

Por otro lado, en cada viaje en total se estima que se esté ocupado el tiempo del trayecto (40 min) más el tiempo necesario para preparar todo lo necesario para el viaje en barca (≈15 min). En los días de más trabajo en los que se llega a realizar 8 viajes, alrededor de 4 se hacen por la mañana y 6 por la tarde. Por ello, por la mañana se estará ocupado alrededor de 3 horas y 40 min y por la tarde alrededor de 5 horas y 30 min. Así pues, con los viajes previstos durante la mañana se prevé que al mediodía las baterías estén descargadas al 50 % (ya que se habrán realizado 4 viajes y están dimensionadas para 8), por lo que si se quiere poder afrontar el trabajo de la tarde de tendrá que recargar durante el mediodía.

Para cargar las baterías se dispone principalmente de toda la noche, madrugada y mañana; a parte de la hora de comer y algunos minutos sueltos en la espera entre cliente y cliente. Durante la noche, desde las 22 h hasta las 11 h del día siguiente, se dispone de alrededor de 13 horas para cargar. Al mediodía, desde las 14:30 hasta las 16:30, se dispone alrededor de 2 horas en total, y por la tarde algunos ratos libres entre viaje y viaje, que los barqueros podrían aprovechar para recargar. Como se ha dicho en el apartado anterior, por la mañana se prevé que se realicen 4 viajes no se prevé que se disponga de tiempo libre entre viaje y viaje para poder recargar. Por la tarde, se prevé que se realicen 6 viajes (lo que corresponde a estar ocupado alrededor de 5 h y 30 min) y como el horario de tarde es de 16:30 a 22 h, tampoco se dispone de minutos libres entre cliente y cliente aparentemente para poder recargar. En total, se calcula que se disponga alrededor de 15 h (más o menos) en total para recargar.

No obstante, el momento crítico de recarga es el mediodía de los domingos de verano, en los que se prevé que se disponga de 2 horas, dependiendo del día, para cargar un 20 % de las baterías como mínimo de la capacidad de las, alrededor de, 30 barcas que se usan diariamente para dar paseos turísticos en El Palmar, en temporada alta. El 20 % de la capacidad de las baterías es 1,56 kWh, que multiplicado por el número de barcas es de 46,87 kWh. Los otros momentos en los que se recarga, no se tiene en cuenta para dimensionar los postes de carga pues se dispone de más tiempo y se necesitaría menos potencia, si se aprovecha bien los puntos de carga, que al mediodía.

Por tanto, si se necesita 46,87 kWh (como mínimo) y se dispone de alrededor de 2 horas, se necesitará una potencia de postes instalada de 23,44 kW, si una barca detrás de otra se va cargando. Para conseguir esa potencia se podría elegir todos los postes de una misma potencia o instalar postes de diferentes potencias para dar flexibilidad a la hora de la recarga. En la actualidad lo normal es tener dos puntos de carga en cada poste, es decir, disponer de dos tomas de carga para poder cargar dos VE a la vez con un solo poste. Con ello, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de postes de carga que serían necesarios instalar si los 23,44 kW sean cubiertos por postes de la misma potencia:

Tabla 11. Tabla resumen de la cantidad de postes a instalar dependiendo de sus potencias.

Número de postes a instalar dependiendo de la potencia			
Potencia (kW)	3,6	7,2	22
Nº postes a instalar	4	2	1

Otro factor importante para saber cuántos postes de carga instalar es el espacio disponible en el embarcadero. En un principio, se pretendía que los postes de carga se conectaran al cuadro general de la Trilladora del Tocayo, por lo que el espacio disponible será el que se disponga en

la orilla de la trilladora. Además, se sabe que el ayuntamiento ha iniciado el proceso de compra de la Trilladora, porque hasta ahora era una propiedad privada que se estaba usando como museo, por lo que, en principio, la compra de la Trilladora por parte del ayuntamiento supondría más facilidades a la hora de conectarse al cuadro general.

Dicho esto, en la orilla de Trilladora hay lugar para la instalación de 3 postes, por lo que se decide instalar 1 poste de 2x22 kW y 2 postes de 7,2 kW, para una mayor flexibilidad en el tiempo de carga. El espacio sobrante a la otra orilla del canal se usará para estacionar las barcas que están haciendo cola para cargar.

Para la elección del poste de carga se han consultado varios modelos de postes que se adapten al rango de potencias. En la tabla 22 del ANEXO 1 se hace una comparativa de diferentes postes de carga, y se eligen los modelos URBAN T22 2x22 kW tipo II con un coste de 4034,75 € (IVA incluido) y el URBAN M22 2x7,2 kW tipo II con un precio de 3713,49⁷⁹ € (IVA incluido), ambos del fabricante CIRCUTOR⁸⁰. En el ANEXO 2 se muestra el catálogo de los postes en cuestión.

4.3.2.5. Sistema de control y telemedida

Respecto al funcionamiento de los sistemas de control de los postes de recarga, en todos ellos viene integrado el protocolo OCPP para la gestión de la recarga, que garantiza la comunicación global entre todas las estaciones de recarga (Open Charge Alliance, 2019). En los postes de recarga, en los que habrá 2 puntos de toma por cada poste, se democratiza la carga limitando la intensidad máxima admisible que circula por los conductores reduciendo, a su vez, el impacto sobre la red.

Desde el punto de vista del usuario, la experiencia para el control de la recarga es similar al de las gasolineras. Para los modelos de poste de carga elegidos, modelos URBAN del fabricante CIRCUTOR, el funcionamiento consiste en el uso de tarjetas identificativas por los usuarios y protocolo de comunicación para la gestión de recargas a través de aplicaciones móviles.

4.3.2.6. Potencia contratada y reglas a seguir para no sobrepasarla

Es importante contratar una potencia adecuada a las necesidades y no contratar una potencia excesivamente elevada y que tenga una influencia negativa en los gastos. También lo es que no haya picos de potencia demandada que excedan la potencia contratada, ya que eso conllevaría penalizaciones económicas.

Por ello, se intuye que sea necesario aplicar una serie de reglas para no sobrepasar la potencia contratada. Reglas como que, en total la potencia demandada por los postes de carga no puede sobrepasar la potencia anteriormente calculada de 23,44 kW. También, para que no se formen colas interminables para cargar, se sugeriría la creación de 5 horarios de carga en las cuales los trabajadores puedan elegir. Se propone 5 intervalos porque se dispone de 3 postes de carga, 6 tomas de corriente, para que de las 30 barcas que trabajan diariamente, 6 se puedan adherir a cada horario de carga, con el fin de hacer el mejor uso posible de los postes y no tener una potencia contratada excesivamente alta.

⁷⁹ <http://wallbox.eu/es/wallbox/postes-de-recarga/>

⁸⁰ <http://circuitor.es/es/productos/recarga-inteligente-para-vehiculos-electricos>

Por otro lado, dado que la línea eléctrica que pasa por el embarcadero es de baja tensión y se prevé una demanda de potencia mayor de 15 kW (los mediodías de los domingos de verano se prevén una demanda de 23,44 kW) correspondería una tarifa eléctrica 3.0A. (Alcázar Ortega, 2019). Este tipo de tarifas tienen discriminación horaria en 3 periodos, y también permite tener potencias contratadas diferentes en cada periodo. En el Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre⁸¹, se muestra la discriminación horaria de las tarifas 3.0A.:

Tabla 12. Discriminación horaria de las tarifas 3.0A.

Punta	Invierno		Punta	Verano	
	Llano	Valle		Llano	Valle
18-22	8-18 22-24	0-8	9-13	8-9 13-24	0-8

En este caso, dado que los días de más trabajo previsto se dan los domingos de verano, para saber que potencia contratar en cada periodo se debería mirar el horario de verano. No hay que olvidar que la potencia contratada en llano y en valle debe ser la misma.

Por otro lado, antes de determinar la potencia a contratar en cada periodo (valle, llano y punta), según el reglamento de baja tensión se debe asegurar 20 lux para estaciones de recarga exteriores, por lo que se ve necesaria la instalación de 4 luminarias, de 60 W cada una, y 4 cámaras de videovigilancia con una carga de 5,5 W. En total, la carga entre iluminación y videovigilancia asciende a (240+22 W), y la carga de la luminaria de 240 W solo afectará en la noche y no afectará sensiblemente a la potencia a contratar.

Por último, una vez que ya se tienen la potencia a contratar se deberían comparar las ofertas de energía de las diferentes distribuidoras, para lo cual se puede utilizar el comparador de ofertas de energía del CNMC⁸², obteniendo así el mejor precio.

4.3.2.7. Esquema de la instalación eléctrica

En el embarcadero de El Palmar los postes de recarga se conectarán al armario de contadores de la Trilladora del Tocaio. La siguiente figura muestra el esquema de la instalación para la recarga. Cabe destacar que se trata de un ejemplo ilustrativo y que no contiene todos los elementos de la instalación.

⁸¹ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-20850&p=20190406&tn=1>

⁸² Comisión nacional de los mercados y la competencia (CNMC).

<https://comparadorofertasenergia.cnmc.es/comparador/index.cfm?js=1&e=N>

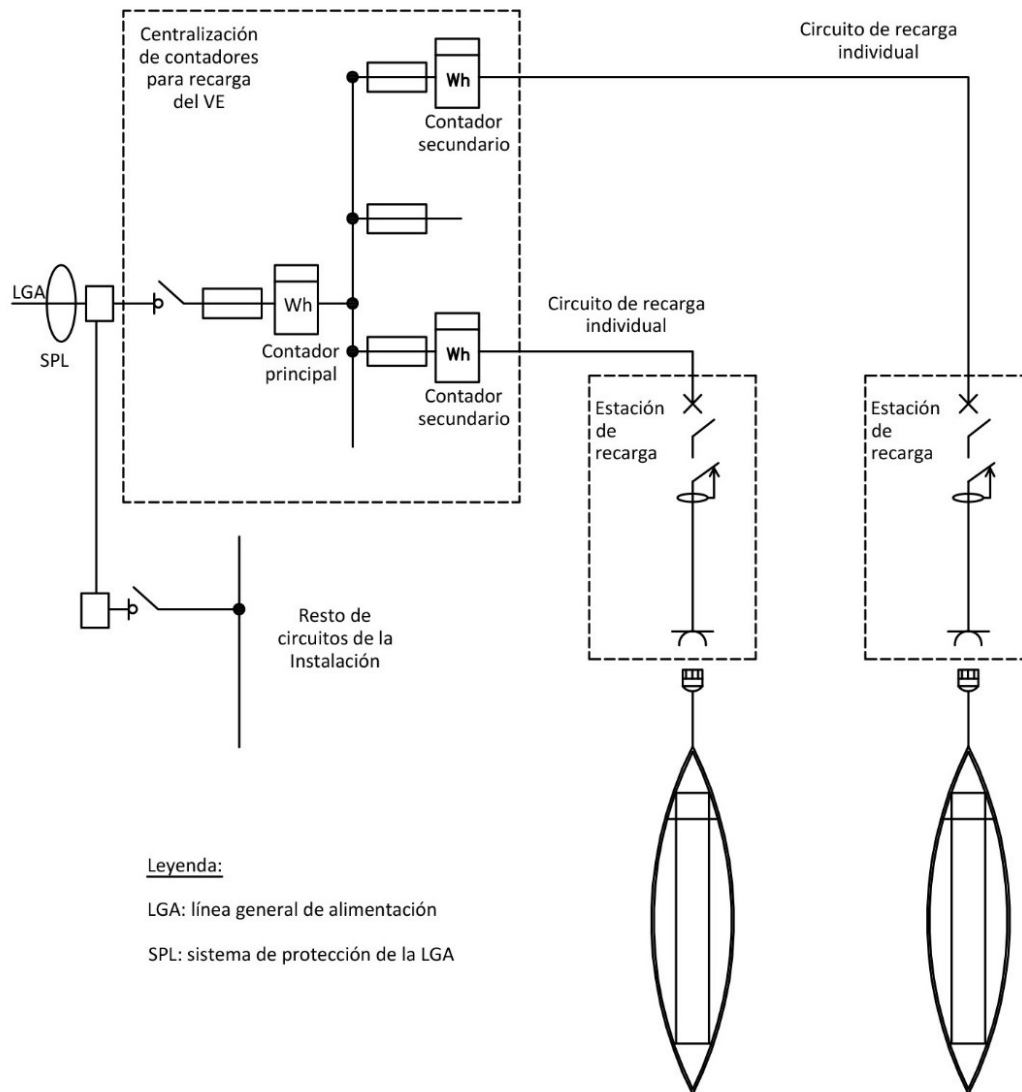


Figura 25. Instalación colectiva con un contador general y contadores secundarios para cada estación de recarga. Elaboración propia basada en el Reglamento de Baja Tensión.

A continuación, se muestra el tipo de conexión entre el poste de recarga y la barca:

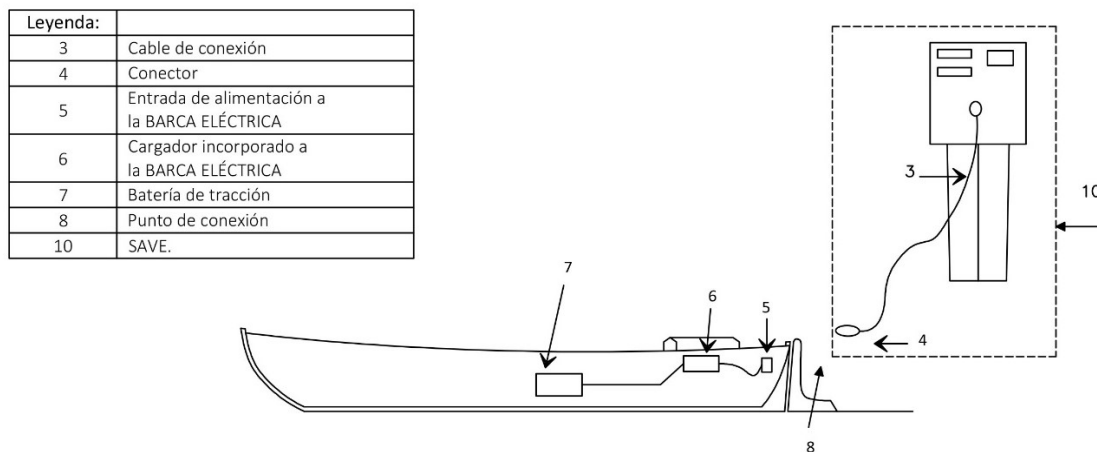


Figura 26. Conexión del vehículo eléctrico a la estación de recarga mediante un cable terminado en un conector: el cable forma parte de la instalación fija. Elaboración propia basada en el Reglamento de Baja Tensión.

No hay que olvidar que, aunque la LGA es la que hay, la introducción de postes de recarga al armario de contadores de dicho local supondría medidas de protección nuevas.

Sería necesaria la instalación de un limitador de sobretensiones transitorias. En el caso de que el dispositivo limitador de sobretensiones transitorias no lleve incorporada su propia protección se deberá instalar la protección recomendada por el fabricante, para garantizar la continuidad de todo el sistema, evitando así el disparo del interruptor general.

Para las protecciones frente a contactos indirectos, se debería implementar un sistema de puesta a tierra de las masas en ambos embarcaderos. El cuadro general esta alimentado por una red de distribución tipo TT (neutro o compensador a tierra). La opción más barata sería conectar la instalación de recarga en la puesta a tierra del recinto, pero para ello se tendría que realizar un estudio para comprobar que se cumplen las especificaciones del ITC-BT-18 Instalaciones de puesta a tierra.

Para el cálculo de otras protecciones de seguridad como los parámetros de los magnetotérmicos a instalar, la sección mínima de cables, el tipo de canalización, etc. se consultaría el ITC correspondiente del RBT, o mediante programas como el Cype⁸³. Debido al alcance de este trabajo de fin de grado no se procede al cálculo como tal.

4.3.3. Resumen de las opciones de carga

Como se ha visto, en el caso de que las baterías sean extraíbles, para cargarlas solamente se tendría que comprar el cargador seleccionado y cargarlas en casa. No obstante, como están dimensionadas para los días de temporada alta en los que se llega a hacer de 6-8 viajes normalmente, e incluso 10 viajes, habría días en los que al mediodía se tendrían que cargar las baterías. También se debe tener en cuenta que conforme pase el tiempo y los ciclos de carga, la capacidad de almacenaje de las baterías irá disminuyendo, por lo que los momentos en los que las baterías no sean capaces de proporcionar la demanda de energía se acentuarían.

La cuestión está en que no todos los embarcaderos disponen de corriente eléctrica para poder cargarlas entre viaje y viaje, para esos días donde hay mucho trabajo. Aunque algunos embarcaderos disponen de pequeños generadores de electricidad, generalmente de gasoil, ese no es el objetivo de la transición eléctrica de las barcas.

Por tanto, aparentemente tener baterías extraíbles y cargarlas en casa son la mejor opción ya que supone un coste de inversión menor, y un menor riesgo de daños y robo. Los trabajadores se han quejado de que en el embarcadero se producen hurtos y robos, y debido al coste de las baterías, estas serían objeto de robo, por ello conviene que sean extraíbles. No obstante, también parece ser necesario la instalación de al menos un par de postes de carga en el embarcadero municipal, para aquellos embarcaderos propios en los que no se dispone de corriente y también en caso de necesitar carga urgentemente. En el capítulo 6 se seguirá con la discusión.

⁸³ <http://www.cype.es/>

CAPÍTULO 5. VIABILIDAD ECONÓMICA

5.1. Introducción

Para decidir si llevar a cabo un proyecto siempre se debe realizar un estudio de la viabilidad económica. El proceso que se seguirá para evaluar la viabilidad económica consistirá en el cálculo de una serie de indicadores económicos. Indicadores como la tasa de retorno de la inversión, el tiempo de retorno (“Payback”), el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR) (Pablo Lledó, 2019). También se realizará un flujo de caja a diferentes para diferentes años y diferentes tasas de interés.

La tasa de retorno es un parámetro que consiste en dividir los ahorros netos medio anuales de una inversión entre el capital inicial invertido, para así calcular su rentabilidad. El tiempo de retorno o Payback es el tiempo necesario para que los ahorros netos acumulados (antes de depreciación) sean iguales al coste de capital inicial del proyecto. El proyecto es más atractivo cuanto menor sea el Payback.

Por otro lado, el cálculo del 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 colmar las expectativas de beneficio del proyecto. Si se están comparando varios proyectos prevalecerá el de mayor VAN (Universidad La Salle Bolivia., 2014).

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 (Partei des Demokratischen Sozialismus. Landesverband Sachsen-Anhalt., 2014) porque es posible que, por ejemplo, un proyecto de una TIR del 35 % y unas ganancias de 10 000 € mientras que otro tenga una TIR del 32 % y unas ganancias de 20 000 € (Universidad La Salle Bolivia., 2014).

Otra 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.

5.2. Inversión inicial

Ya que aparentemente la opción de que las baterías sean extraíbles es más viable económicamente, el estudio de la viabilidad se aplicará al caso de que así lo sean. A modo de resumen, en la siguiente tabla se muestran los costes de las baterías, motores, potenciómetro y poste de carga:

Tabla 13. Tabla resumen de los precios del sistema de propulsión eléctricos.

Equipo	Modelo	Precio (€)
Motor + Controlador ⁸⁴	4 WG	5043
Batería	48V 168,8Ah	3651,54
Cargador	12A 58,8V	335,74 x2 (2 uds)
Mano de obra ⁸⁵		2000
Total		11366,02

5.3. Ahorro asociado en kWh, € y tCO₂ asociado al combustible

Como se ha recogido en el capítulo 3, habitualmente se realizan de 3 a 5 viajes. Y aunque las baterías estén dimensionadas para 8 viajes, de media se hacen 4 viajes. Los litros de diésel consumidos para los días en los que se hacen 4 viajes se estima que sea de 3,02⁸⁶ litros. Por otro lado, se sabe que se trabaja casi todo el año, exceptuando ciertos días por temas meteorológicos y otros por diversos motivos (≈ 45 días de lluvia⁸⁷ + 10 días). De esta manera se estima un trabajo medio anual de 310 días, por cada trabajador.

Por otro lado, teniendo en cuenta que el precio del gasoil está en 0,887⁸⁸ €/litro, se prevé un consumo y gasto medio anual en diésel de 936,2 litros y 830,41 €, respectivamente. Si los litros de diésel consumidos se multiplican por la densidad y el calor específico se obtiene los kWh que se producen en la combustión, que al año resulta ser de 9058,67 kWh. Respecto a las emisiones, los 936,2 litros de gasoil previstos se multiplican por el factor de emisión (citado en el apartado 2.3.) de 2,493 kg CO₂/l. Por lo que, cada barca emite 2333,95 kg CO₂ anualmente.

Si ahora se aplican las ecuaciones (1) y (2) para el consumo anual de diésel de 936,2 litros y se supone un rendimiento del motor diésel del 8,91 % (tabla 13), se prevé una demanda eléctrica anual de 1048,29 kWh. Para el precio de la electricidad se toma como referencia el precio del PVPC⁸⁹ en 2018, ya que se pretende cargar en casa, que fue de 0,1175 €/kWh. Con ello, se calcula un gasto anual en electricidad de 123,17 €. Por otro lado, se recuerda que el factor de emisión de la electricidad es 0,246 kg CO₂/kWh, por lo que las emisiones anuales debidas al consumo eléctrico son de 257,88 kg CO₂.

En la siguiente tabla se muestran el ahorro energético, económico y de emisiones anuales relativos al consumo del combustible diésel y electricidad por barca.

⁸⁴ En el pack de “motor+controlador” van incluido también el cableado, protecciones de seguridad, etc.

⁸⁵ Coste aproximado al de cambio de coches con motor térmico a eléctrico y suponiendo que la instalación se hace en un gran número de barcas. <https://www.elmundoecologico.es/entrevista-podcast/convertir-coche-combustion-a-electrico/>

⁸⁶ Producto del consumo medio de diésel por viaje y el número de viajes.

⁸⁷ https://www.weather-es.com/es/espana/valencia-clima#rainfall_days

⁸⁸ <https://datosmacro.expansion.com/energia/precios-gasolina-diesel-calefaccion/espana>

⁸⁹ Precio Voluntario al Pequeño Consumidor. <https://comparadorluz.com/tarifas/pvpc#precio-pvpc>

Tabla 14. Ahorro energético, económico y en emisiones en un año por una barca.

Consumo	Motor diésel	Motor eléctrico	Ahorro
Energético (kWh)	9058,67	1048,29	8010,38 ⁹⁰
Económico (€)	830,41	123,17	707,38
Emisiones (kg CO ₂)	2333,95	257,88	2076,07

5.4. Cálculo de indicadores económicos

En primer lugar, se ha calculado el ahorro económico debido a la transición de motores de combustión y ha resultado ser de 707,38 €/año. No obstante, hay otros gastos relativos al mantenimiento que deben ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar la viabilidad económica. Se prevé un coste de mantenimiento cercano los de los coches eléctricos, cercano a 120 € cada 2 años⁹¹, es decir, 60 € cada año.

Para simplificar los cálculos y por falta de datos, se consideran constantes los costes de mantenimiento, electricidad y diésel (60 €, 830,41 € y 123,17€, respectivamente), por lo que el ahorro también se considerará constante (707,38 €). Se ha seleccionado una vida útil de 15 años como horizonte a medio plazo para analizar la inversión con retornos a lo largo del tiempo y un elevado coste de capital inicial.

5.4.1. Flujo de caja

Como se ha dicho anteriormente, el flujo de caja consiste en calcular los ahorros y costes durante cada año de la vida del producto. No obstante, el producto (la barca eléctrica) se divide en varios componentes (motor, baterías, etc.) que tienen diferentes vidas útiles. Por ello, se hará un flujo de caja a 10 y 15 años.

Antes de proceder a ello, como se pudo ver en la tabla 8, los ciclos de vida de una batería de ion-litio convencional va desde los 400 hasta las 1500 cargas. Concretamente, las baterías del suministrador elegido tienen 1500 ciclos de carga-descarga⁹² de vida útil, haciendo un uso razonable. Por otro lado, como se ha dicho en el apartado 5.3., se prevé que se trabajen alrededor de 310 días al año por lo que se espera 310 ciclos de carga cada año. Por ello, se estima que las baterías se tengan que cambiar cada 5 años, más o menos.

Hay que tener en cuenta también que la capacidad de las baterías va disminuyendo a lo largo de las recargas. Para el caso de las de ion-litio, normalmente entre la carga 500 y 1000 la capacidad se reduce al 80 %, por lo que llegados a las 1500 cargas seguro que ha disminuido bastante. Por ello se prevé bien que se cambien las baterías cada 5 años, más o menos.

⁹⁰ Hay que resaltar que se están restando kWh térmicos y kWh eléctricos, que no son lo mismo. Pero se acepta porque a modo de mostrar el ahorro.

⁹¹ https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-cuanto-cuestan-mantenimiento-y-revisiones-coche-electrico-201812200308_noticia.html

⁹² 1500 ciclos de carga de vida útil para ciclos de carga amables, por ejemplo, del 100 % hasta el 40-60% de la capacidad de las baterías. Si la descarga fuera profunda, del 100 % al 10 % por ejemplo, la batería ya no tendría 1500 ciclos de vida útil, sino que pasaría a tener cientos de carga de vida útil.

En el caso de los motores, cargadores y potenciómetros, los años de vida útil se prevén fijos. Es decir, los años de vida útil no variará dependiendo de los números de ciclos de carga que se hagan anualmente, si no que si los componentes trabajan en una zona de funcionamiento para la cual han sido diseñados, los años de vida útil serán como mínimo el que dice la ficha técnica.

Así pues, el flujo de caja para cada año se calcula de la siguiente manera:

$$F(t) = a(t) - c(t) + F(t - 1) \quad (22)$$

Siendo:

- $a(t)$: es el ahorro económico en combustible, que se ha considerado constante e igual a 707,38 €.
- $c(t)$: es la suma de costes a lo largo de un año. En el año cero se tiene en cuenta el coste de inversión (tabla 13) y a partir de ahí, cada 5 años, se presenta el gasto de unas baterías nuevas. Por otro lado, cada año se supondrá un coste de mantenimiento de 60 €, como se ha dicho anteriormente.
- $F(t - 1)$: es el flujo de caja del anterior año. Se añade para ver si al final se consigue o no recuperar la inversión.

En la siguiente figura se muestra la evolución del flujo de caja:

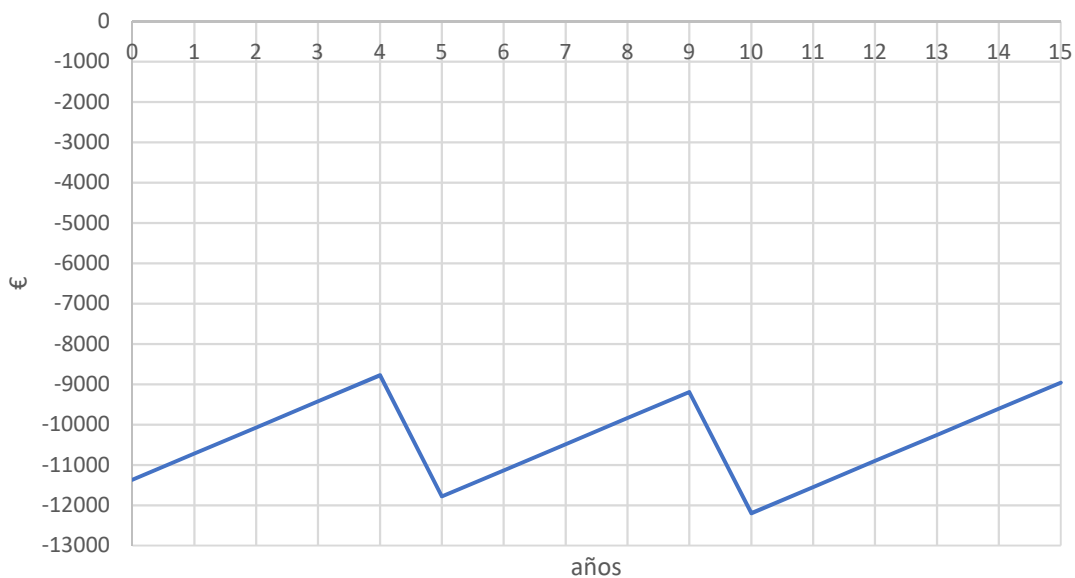


Figura 27. Flujo de caja a 10 y 15 años.

Como era de esperar, a lo largo de los años no se llega a recuperar la inversión inicial (11366,02 €). Cada año se ahorran 707,26 € en combustible, por lo que a los 5 años se habrán ahorrado 3536,18€. No obstante, se ha previsto que cada 5 años se deben comprar baterías nuevas (3651,54 €), por lo que el ahorro en combustible se destina a la compra de baterías nuevas. Y así cada 5 años. Al final de la vida útil se consigue recuperar alrededor de 2405 € de la inversión inicial, es decir, un 21,16 % de la inversión.

Por otro lado, se debe tener en cuenta también lo que se dejaría de gastar si las barcas continuaran usando motores diésel. Por parte de los trabajadores del embarcadero de El tío pastilla, se gastan alrededor de 1700 € en total cuando sustituyen un motor por otro, de los

cuales 700 € corresponden al precio del motor y los 1000 € restantes al rectificado e instalación. El gasto en mantenimiento de la barca y sustitución de piezas rotas suponen un coste de 100 € de media anualmente, sabiendo que en un año puede gastarse más o menos dependiendo de las piezas que se rompan. Y las sustituciones de los motores se hacen cada 10 años o más, dependiendo de lo que aguante el motor.

Teniendo en cuenta estos ahorros, en la siguiente figura se muestra de nuevo la evolución del flujo de caja:

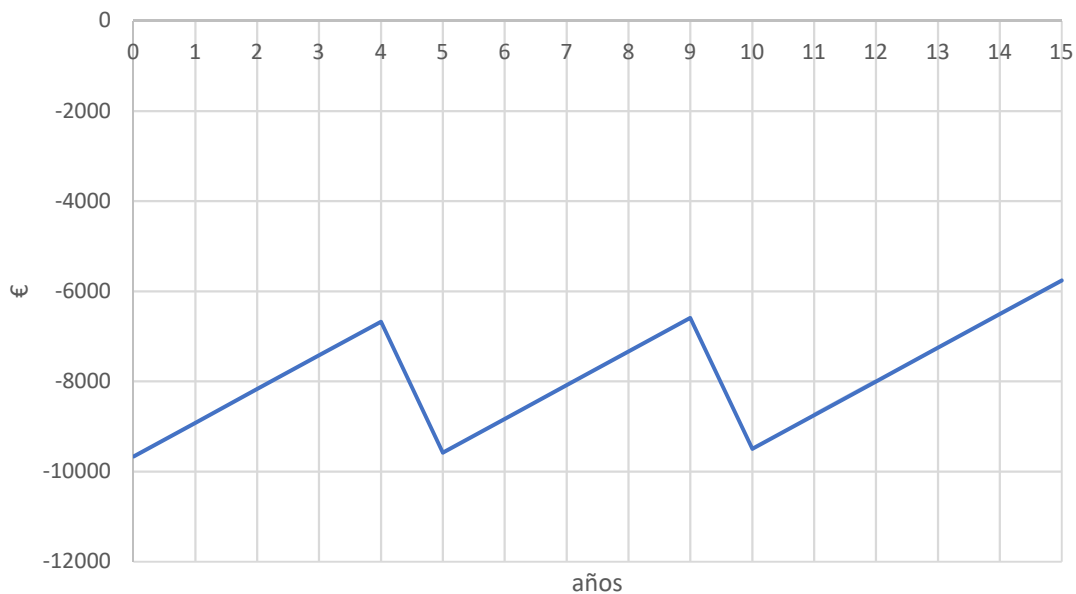


Figura 28. Flujo de caja a 10 y 15 años, considerando lo que se gastaría si se siguiera utilizando motor diésel.

El ahorro de cambio de motor diésel de 1700 €, que se realiza cada 10 años o más, se ha tenido en cuenta en el año cero. Y a lo largo de los años un ahorro en el mantenimiento de 100 €.

Así pues, como se puede ver en la figura anterior, la evolución del flujo de caja es similar al del caso anterior. Cada año se ahorra 707,26 €, en concepto de combustible, mas 100 €, en concepto de mantenimiento del motor diésel. De esta manera, cada 5 años se ahorran 4036,18 €, compensan los 3651,54 € que se tienen que gastar en baterías nuevas cada 5 años. Al final de la vida útil, se consigue recuperar 5605,45 € de la inversión inicial, es decir, un 49,32 % de la inversión.

Estos resultados reflejan de nuevo que la transición eléctrica no es rentable económicamente. No obstante, el valor de la transición no radica únicamente en el ahorro económico del combustible pues la transición tiene muchos otros beneficios.

Por otro lado, si se pidiera que se subvencionara parte de la inversión inicial para que por lo menos con el ahorro en combustible se recuperara la inversión inicial (11366,02 €), tendría que ser una subvención de 8960,58 € (un 78,84 % de la inversión inicial). De esto, se seguirá discutiendo en el capítulo 6.

5.4.2. Valor actual neto (VAN)

El cálculo del VAN consiste en hallar los valores actuales de todos los costes de capital y de los ahorros netos (antes de depreciación⁹³) que se generarán a lo largo de la vida del proyecto. Se calcula de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{i=1}^n a_{Ni}(ad) \cdot FD_i(Td) - \sum_{i=1}^N C_i \cdot FD_i(Td) - C_c \quad (23)$$

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 de 707,38 € (tabla 14) y los ahorros en el mantenimiento. Se recuerda que se estima el coste del mantenimiento del sistema eléctrico en 60 € y el del sistema diésel de 100 € anuales. Por tanto, los ahorros netos anuales serán 747,38 €, y constantes.
- $FD_i(Td)$: es el factor de descuento (deflactor) para cada año, a lo largo de la vida útil de la instalación de 15 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:

$$FD_i(Td) = \frac{1}{\left(1 + \frac{Td}{100}\right)^i} \quad (24)$$

Donde Td es la suma del IPC⁹⁴, que en España en el 2018 es del 1,67⁹⁵ %, y la tasa de interés (I), que sirve de indicador para establecer la tasa de descuento. El valor de la tasa de interés se irá modificando (2, 4, 6, 8 y 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. Se supone una financiación del 100 % de la inversión inicial (C_{prest}) a 4 (N) años. En este caso, en el que se deben cambiar las baterías cada 5 años, para simplificar los cálculos a la inversión inicial se le añade el gasto de la compra de 2 baterías (conjunto de dos baterías) que se harán en el quinto y décimo año de la puesta en marcha. Dicho esto, la inversión inicial será de 18669,10 €. Se calcula de la siguiente manera:

$$C_i = C_{prest} \frac{I(1+I)^N}{(1+I)^N - 1} \quad (25)$$

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

⁹³ 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.

⁹⁴ 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.

⁹⁵ <https://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/espana/inflacion-historica/ipc-inflacion-espana-2018.aspx>

Por tanto, se procede al cálculo del VAN para las diferentes tasas de interés (I). El VAN va desde -9888,57 € con una tasa de interés del 2%, hasta los -13110,70 € con una tasa de interés del 10%. Que el valor sea negativo indica que desde el punto de vista económico el proyecto se debería descartar. No obstante, se procede al cálculo del TIR, que es la tasa de descuento que hace nulo el VAN de una inversión. Puede interpretarse como el beneficio anual neto en términos actuales.

5.4.3. Tasa interna de retorno (TIR)

Para el cálculo del TIR se hace que la ecuación del VAN sea igual a 0 variando el valor de la tasa de descuento (Td). Como el VAN ha salido un valor tan negativo, se prevé que el TIR también salga negativo y, efectivamente sale un valor del -11,496 %. Lo que significa que durante toda la vida útil de la instalación no se llega a recuperar la inversión inicial.

5.5. Conclusiones

Como se esperaba, el estudio de viabilidad económico ha dejado de manifiesto que, si la transición eléctrica se mira desde el punto de vista económico, el proyecto no se debería llevar a cabo. Pues todos los indicadores económicos han mostrado que no es rentable. No obstante, los beneficios de la transición eléctrica no radican únicamente en el ahorro del combustible, sino también en la reducción de los impactos ambientales de éstas sobre el ecosistema natural del Parque Natural de la Albufera.

Beneficios como el descenso de ruido. Se prevé que como las barcas circulan a bajas velocidades (7 km/h) generen muy poco ruido, como en el caso de los coches⁹⁶, y así retornar a los ecosistemas previos. También los vertidos de hidrocarburos e inquemados de la combustión se verían drásticamente reducidos y la calidad del agua mejoraría. Ya que, en mayor o menor medida, los vertidos influyen en los problemas de eutrofización que ha sufrido la Albufera⁹⁷. Otros de los factores que más afecta a la calidad del agua son las aguas vertidas en la Albufera por parte de depuradoras de polígonos industriales cercanas, que no han sido tratadas adecuadamente, y también el hecho de que cada vez se recibe menos agua de su principal suministrador de agua, el río Júcar. Los vertidos, además, pueden provocar entaponamiento en los *ullals*, que son manantiales naturales de agua dulce que se encuentran por todo el lago.

Sin lugar a duda, el valor que el ecosistema natural de la Albufera tiene para aquellos grupos laborales que trabajan directamente en el lago, como los trabajadores que se dedican a la pesca tradicional y a realizar paseos turísticos, es importante. No obstante, también lo es para aquellos sectores de la hostelería y restauración ubicados cerca de la Albufera, y para el sector turístico de la ciudad de Valencia⁹⁸. Por ello, se deben tomar medidas en la Albufera para mejorar, o como mínimo mantener, las condiciones en las que se encuentra el Parque Natural, aunque económicamente no sea “rentable”. Y una de las mejores medidas que se pueden tomar es la

⁹⁶ <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-suena-un-coche-electrico>

⁹⁷ https://www.elconfidencial.com/sociedad/redes-sociales/2017-09-24/tancat-pipa-albufera-valencia-coca-cola_1448029/

⁹⁸ <https://www.valenciaturisme.org/es/parquenatural/parque-natural-de-la-albufera/>

transición eléctrica de la flota de barcas de la Albufera, ya que directamente tiene un impacto positivo en el ecosistema natural.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Introducción

Como se ha visto en los capítulos anteriores, la situación del ecosistema natural de la Albufera de Valencia refleja la necesidad de toma de una serie de medidas para que, como mínimo, se encuentre en un punto adecuado para la conservación de la Albufera. A raíz de esto y la necesidad de adaptarse a los nuevos paradigmas de la movilidad⁹⁹, impulsaron a la Comunidad de Pescadores de El Palmar a proponer un proyecto de transición eléctrica de la flota de barcas.

Las dos principales cuestiones para resolver de la transición eléctrica son la viabilidad, es decir, si la transición es posible. Y en caso afirmativo, cómo se van a cargar las barcas eléctricas. Estas dos cuestiones se han planteado en apartados de los capítulos anteriores, en los que se han discutido un poco los resultados.

En este último capítulo se van a discutir los resultados con mayor profundidad y los factores que más peso tienen en la transición eléctrica.

6.2. Viabilidad técnica

Como se ha podido ver en el capítulo 3 y 4, se han tomado datos de la actividad laboral y de las necesidades energéticas, a partir de los cuales se ha elaborado un modelo de cálculo para estimar la capacidad necesaria de las baterías. También, se evaluaron los diferentes tipos de baterías del mercado para saber cuál se adapta mejor a la actividad laboral a desarrollar.

Los resultados fueron que, de media, por cada viaje en barca realizado se demandaría 0,814 kWh eléctricos a las baterías. Posteriormente, la cuestión a resolver fue si dimensionar las baterías para la actividad laboral que normalmente se hace durante el año, es decir, dimensionar para los días en los que se hacen de 3 a 5 viajes (que en este caso se dimensionaría para 5) o dimensionarlas para los días de temporada alta en los que se hace normalmente de 6 a 8 viajes (que en este caso se dimensionaría para 8). La temporada alta corresponde a los fines de semana de verano, sobre todo los domingos en los cuales se llega a realizar hasta 10 viajes por barca.

En este apartado, primeramente, se va a indagar en la validez del modelo de cálculo y del procedimiento de recopilación de datos. Posteriormente se evaluará el dimensionamiento de

⁹⁹ Se dieron cuenta que el gobierno estaba y está poniendo cada vez más restricciones para la utilización de motores diésel, debido a la cantidad de gases contaminantes que emiten, y que tarde o temprano les iba a afectar a ellos también. Y mucho más siendo la Albufera de Valencia un Parque Natural con un ecosistema de importancia internacional.

las baterías, y su impacto en el aspecto económico, y se tendrá en cuenta los posibles problemas que el tipo de baterías elegido puede presentar.

6.2.1. Validez del modelo de cálculo y de los datos recopilados

Como se describió en el capítulo 3, los datos recopilados de la velocidad y de las coordenadas geográficas se registraron mediante la aplicación de MATLAB Mobile Sensor Data, que recoge los datos con mucha precisión. Para los datos de la actividad laboral, como los horarios habituales de trabajo, se preguntó personalmente a los trabajadores.

Por otra parte, los consumos de gasoil se midieron mediante una jarra, con una precisión de hasta el segundo decimal. Se podría decir que los datos de consumo son fiables, pues tampoco se apreció ningún tipo de fuga de gasoil en el sistema de inyección del combustible al motor. Y respecto a los datos de dimensiones y peso de la barca se consultó personalmente a la persona que se dedica a fabricarlas.

Respecto a los datos utilizados en el modelo de cálculo, algunos no se pudieron conocer exactamente el valor y se tuvieron que aproximar. Por ejemplo, se aproximó el valor de la viscosidad cinemática y densidad del agua de la Albufera a valores promedios del agua dulce. Se sabe que el valor debe ser próximo al del agua dulce, pero no exactamente iguales porque el agua de la Albufera tiene más minerales, metales pesados (debido a los vertidos de inquemados de los motores de diésel) y algas que se mezclan con el agua. No obstante, se considera que están bien aproximados pues el valor no suele variar mucho¹⁰⁰, pero se aconseja que si está la posibilidad de conocer ambos parámetros se valore, pues influyen en el valor de la fuerza de arrastre del agua.

Otro valor aproximado, y que afecta directamente, es el cálculo del área mojada del barco. Como se vio, se realizó un modelo en 2 dimensiones del barco en AutoCAD¹⁰¹. La superficie mojada de la parte inferior del barco se sacó del área que proporciona el programa, pero para la parte mojada de las paredes laterales se aproximó al área de un trapecio plano y se multiplicó por un factor de curvatura de 1,8 (que es un valor conservador), para tener en cuenta que las paredes laterales no son planas y las otras partes del barco que también están sumergidas (como la parte del timón que está sumergida para controlar la dirección del barco). Convendría calcular con exactitud el área mojada mediante un modelo en 3 dimensiones, no obstante, se considera que es un valor como mínimo igual o incluso más que el valor real.

Otro de los valores estimados y de gran importancia, como el área mojada, es el rendimiento de propulsión. Lo ideal, sería realizar un estudio completo del sistema de propulsión, pero se ha estimado constante e igual a igual al rendimiento de propulsión que las barcas intraborda de ejes suelen tener. Para el caso de los rendimientos se ha estimado rendimientos genéricos de 90 % y 95 %, valores típicos.

Respecto al modelo de cálculo, la aproximación de que la fuerza total de arrastre del barco en el agua sea igual a la fuerza de arrastre en el agua de una placa plana dividida por 0,85 se considera adecuada según diferentes estudios (Juan-García Aguado, 1993). Otros factores que se aproximaron fueron el coeficiente de arrastre aerodinámico de la barca, que se consideró similar a la de los veleros y busques petroleros, y el área del barco que se enfrenta al viento (que

¹⁰⁰ https://www.experimentoscientificos.es/densidad/densidad-agua/#DENSIDAD_1_atm_4oC

¹⁰¹ <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview>

teniendo las medidas del barco se aproximó pues puede variar también en función de cómo estén situados los pasajeros).

Respecto a la resolución del balance de fuerzas, a partir del cual se pretendía calcular la fuerza útil que realiza el motor, hubo momentos en los que resultaba en valores negativos, algo que físicamente no tiene sentido. Esto se debía en parte al ruido en la obtención de datos de velocidad, por lo que se le aplicó un filtro sencillo. No obstante, seguía habiendo momentos durante los viajes en los cuales la fuerza del motor salía negativa, algo que no puede ser porque el motor actual no puede almacenar energía ni para por un momento y luego se vuelve a encender. Sino que durante el viaje el motor siempre está funcionando, y una cierta potencia mínima. Por ello, se estimó como potencia mínima la necesaria para mantener la velocidad constante.

Finalmente, con toda la explicación anterior se pretende mostrar cuales son las debilidades del modelo de cálculo y destacar que los resultados obtenidos son aproximados¹⁰², ya que se han realizado con los datos y recursos de los que se disponía en este caso. No obstante, se consideran razonables pues es lo que más o menos se esperaría obtener si se compara con las potencias, autonomía y capacidades de las baterías de los coches eléctricos¹⁰³.

6.2.2. Dimensionamiento de las baterías

En este apartado se van a comentar cuales son las ventajas y desventajas de dimensionar las baterías para días habituales y días de temporada alta. Finalmente se decidirá, para este caso, cuál sería la mejor opción.

En primer lugar, si se dimensionan las baterías para días habituales (5 viajes), en los que se hacen de 3 a 5 viajes y con un sobredimensionamiento del 20 %, se necesitaría en total una capacidad alrededor de 4,88 kWh. Si se decanta por baterías de ion-litio, que son consideradas las que mejor rendimiento ofrecen para la movilidad eléctrica, la batería tendría un peso de 20 kg y un coste cercano a 2000 €. Si, además, en lugar de una batería grande se pretende disponer de un conjunto de 2 baterías pequeñas para facilitar el transporte, cada batería debería tener una capacidad de 2,5 kWh, y un peso y un coste de 10 kg y 1000 €, respectivamente.

En la siguiente tabla, se muestra una comparación de las características de las baterías si se dimensionan para 5 y 8 viajes.

Tabla 15. Comparativa de dimensionamiento de las baterías para 5 y 8 viajes.

Número de viajes	5	8
Capacidad (kWh)	4,88	7,81
Coste (€)	2000	3651
Peso (kg)	20	32

Obviamente, desde el punto de vista económico y de comodidad en el transporte, la mejor opción es dimensionarlas para 5 viajes. Y más cuando, en lugar de tener una batería de 20 kg, tienes 2 de 10 kg que las puedes llevar una en cada mano. No obstante, hay otros factores que

¹⁰² En parte, por eso se han sobredimensionado las baterías un 20 %, para aumentar la seguridad de suministro.

¹⁰³ <https://www.motor.es/noticias/baterias-autonomia-potencia-electricos-201849520.html>

también se deben tener en cuenta, como el tipo de carga y descarga que se haga y la pérdida de capacidad de la batería, respecto de la capacidad inicial, que afecta a la vida útil de la batería. Como se describió en el capítulo 4, uno de los factores importantes para tener en cuenta en una batería es la vida útil de ésta, es decir, el número de ciclos de carga-descarga que es capaz de soportar. Y uno de los factores que influyen directamente en la vida útil de una batería es el tipo de carga-descarga que se haga (Peña Ordóñez, 2011). Porque a mayor descarga mayor se está desgastando la batería. Es decir, si una batería inicialmente al 100 % de su capacidad se descarga hasta el 10 %, el desgaste es importante, ya que se ha realizado una descarga profunda. Si se descargara del 100 % al 50 %, por ejemplo, el desgaste sería la mitad, y aguantaría casi el doble de ciclos de carga-descarga.

En el caso de dimensionarse para 5 viajes, diariamente se estarían descargando desde el 100 % hasta el 10-40 % de su capacidad más o menos, dándose descargas profundas. Lo que reduciría mucho la vida útil de las baterías, que pasarían de aguantar 1500 ciclos de carga-descarga a 500-800¹⁰⁴, más o menos. Y si la vida útil se reduce a 500-800 recargas, se tendrían que cambiar de baterías cada 2-3 años, en lugar de cada 5 años con ciclos de descarga más amables. Además, a medida que se producen ciclos de carga-descarga la capacidad de las baterías va disminuyendo, respecto de la capacidad inicial. Concretamente, a partir de 500-1000 ciclos la capacidad de las baterías pasan a ser del 80 %, según (Torrejón Pérez, 2010).

Adicionalmente, como en temporada alta se hacen de 6 a 8 viajes, e incluso 10, se tendría que recargar las baterías al mediodía y/o entre viaje y viaje. Si inclusive las baterías se encuentran en un punto donde tienen un 70 % de su capacidad inicial, por ejemplo, no tendrían la capacidad suficiente para afrontar los 5 viajes que se prevé que se hace en las tardes de los domingos de verano, aunque se hayan cargado durante el mediodía. En ese caso, sería necesario disponer de corriente en los embarcaderos y eso es algo que no todos tienen. Para tener corriente algunos embarcaderos usan pequeños generadores de diésel, una forma de carga que resultaría contraria a los objetivos de la transición energética que aborde el actual proyecto.

En resumen, si se dimensionan las baterías para 5 viajes, se llegarán a situaciones en las que sea necesario disponer de corriente para cargar las baterías en el embarcadero particular para afrontar el trabajo. Para lo cual, algunas embarcaciones tendrían que utilizar pequeños generadores diésel (a no ser que en el embarcadero municipal se hayan instalado puntos de carga), que perjudica dos de las ventajas de las baterías extraíbles: que se pueda cargar en casa y no sea necesario disponer de corriente en el embarcadero, y que se ahorre en emisiones.

Por otro lado, si se dimensionan para la temporada alta (8 viajes), en la gran parte de la vida útil de la batería habría la capacidad suficiente para afrontar el trabajo tanto para días habituales como para temporada alta. Exceptuando aquellos momentos en los que el descenso de la capacidad de la batería hiciera necesario tener que recargar al mediodía, sobre todo en los días de temporada alta.

Por otro lado, las baterías dimensionadas para 8 viajes supondrían un peso alrededor de 32 kg, que, si se cuenta con un conjunto de 2 baterías pequeñas, el peso se repartiría a 16 kg por batería. Y baterías de 16 kg ya son un peso importante para transportar.

Por ello, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida de las baterías y que hay embarcaderos que no están conectados a la red eléctrica, aunque las baterías dimensionadas para temporada alta pesen más en este caso son la mejor opción.

¹⁰⁴ <https://www.tallerbicicletasmadrid.com/blog/prolongar-la-vida-bateria-litio>

6.2.3. Modos de carga

Como se ha dicho anteriormente, el modo de carga dependerá si se quiere que la batería sea extraíble o no. Si lo son se carga en casa, mientras que si no lo son tendrían que haber puntos de carga en el embarcadero municipal.

Si son extraíbles solo se tendrían que comprar el cargador elegido que incluso, si en el embarcadero propio se dispone de corriente, ese mismo cargador se podría usar para cargar entre viaje y viaje si se usa un carrete alargador de cable¹⁰⁵ que llegue hasta el embarcadero.

Por otro lado, en el caso de no ser extraíbles, se podrían utilizar baterías con menor energía específica, es decir, baterías con un material que pese más que las de litio, por lo que serían más baratas. En el mercado actual de las baterías una opción interesante son las de tipo GEL¹⁰⁶, que dan buenas prestaciones para movilidad eléctrica y un número de ciclos de carga entre 700-1200¹⁰⁷. El precio para unas baterías de GEL de 7,81 kWh estaría alrededor de 1700¹⁰⁸ €, casi a la mitad de precio que las de ion-litio.

No obstante, también se debe tener en cuenta el coste de instalación de los postes de carga, que, preguntando a instaladores, puede llegar a superar los 10000 €, más IVA. El coste total incluiría el suministro, proyecto, instalación y legalización, entre otros. Para saber el precio en realidad se debería ver el sitio de instalación e incluso el cuadro eléctrico donde se va a conectar, entre otras cosas.

Por otro lado, como se mencionó en el capítulo 4, en el embarcadero municipal hay sitio para la instalación de 3 postes de carga. Si todas las barcas eligen tener baterías no extraíbles, la potencia de los postes de carga tendría que ser elevada para que los tiempos de carga se adapten a la cantidad de barcas que necesitan cargar. No obstante, se recuerda que no se pudo saber exactamente la capacidad de la línea eléctrica que pasa por el embarcadero, por lo que se supuso que tiene la potencia necesaria, por lo que se debería insistir a Iberdrola Distribución (ahora I-DE) para que colabore aportando esos datos.

En principio los costes de los postes de carga e instalación se repartirían entre las barcas que normalmente usarían los postes. Como se calculó en el capítulo 4, se prevé necesaria la instalación de 2 postes de 7,2 kW y uno de 22 kW, con unos costes de 3713,49 € y 4034,75 € (IVA incluido), respectivamente. Y con un coste de instalación de mínimo 10000 € por poste. El coste total, de la instalación de los tres postes, sería de 41500 € aproximadamente. Si como se ha dicho se reparten los costes entre las barcas que las van a utilizar normalmente, 30 barcas de paseo turístico, el coste de los postes más la instalación a pagar por cada barca sería alrededor de 1400 €.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se muestran los costes relativos a los dos modos de recarga:

¹⁰⁵ https://www.efectoled.com/es/comprar-carretes-de-cable/1684-enrollacable-negro-50m.html?gclid=CjwKCAjw-7LrBRB6EiwAhh1yXyVF-v9z0BdUYIvAjs_pH5YTKUi8xy4GwltKs-UmQV8mTiGPJSdw4BoC4o4QAvD_BwE&gclid=aw.ds

¹⁰⁶ Variante de las baterías de plomo, conocidas también como “batería de plomo-ácido sellada”. Algunas de las características sería que necesitan cargarse a baja tensión (normalmente 12 V), no requieren casi mantenimiento y permiten mayor número de ciclos de carga y descarga que las de Pb-ácido.

¹⁰⁷ <https://www.alke.eu/es/bateria-vehiculo-electrico>

¹⁰⁸ <https://www.hdibattery.com/>

Tabla 16. Comparativa de los costes de los dos modos de carga.

Modo de carga	Extraíble	No extraíble
Tipo batería	Ion litio	GEL
Precio batería (€)	3650	1700
Precio cargador / precio poste de carga (€) + instalación	335,74 x2 (2 uds)	1400
Total (€)	4322	3100

Aparentemente, económicamente la mejor opción parece que es que las baterías no sean extraíbles. Pero hay que tener en cuenta también los ciclos de carga de vida útil de las baterías. Como las de GEL tienen menos ciclos de carga útiles, se tendrían que comprar cada 4 años más o menos, mientras que las de litio cada 5 años. No obstante, económicamente parece que la mejor opción sigue siendo no extraíbles, ya que las de GEL cuestan la mitad.

Por otro lado, desde una perspectiva social, es conocido que en los embarcaderos se han producido robos y actos vandálicos, ya que están al aire libre y tienen fácil acceso. Por ello, se intuye que las baterías sean objeto de hurtos y robos, debido a su elevado precio. Lo ideal para unas baterías no extraíbles, al igual que en los coches, es que si la recarga se realiza durante la noche se haga en un sitio cerrado y protegido. Y que, si la recarga se realiza por el día, que por lo menos esté vigilado.

Por tanto, aunque económicamente la posibilidad de que las baterías no se extraigan es un poco mejor, debido a los posibles hurtos conviene más bien que sean extraíbles. Ya que, si roban las baterías, el daño a la estabilidad económica del trabajador es importante. No obstante, cuando llegue el momento, esta decisión la deberá tomar la Comunidad de Pescadores.

6.2.4. Resumen de las opciones elegidas

Finalmente se ha decidido que las baterías deben dimensionarse para los días de temporada alta. Para resaltar ello, en la siguiente tabla se muestra las ventajas y desventajas de cada dimensionamiento:

Tabla 17. Tabla comparativa del dimensionamiento de las baterías para días habituales y de temporada alta.

Dimensionamiento	Días habituales	Temporada alta
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">- Menor peso- Menor coste- Mayor comodidad en el transporte	<ul style="list-style-type: none">- En la gran parte de la vida útil habría capacidad suficiente. No obstante, sí que habría momentos en los que se tendría que cargar al mediodía. Pero ello se puede arreglar cargándolo al mediodía en casa, si no se dispone de corriente en el embarcadero particular.

Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Descargas profundas - Para días de temporada alta se tendría que cargar al mediodía, y llegarían momentos que entre viaje y viaje también, porque con el paso del tiempo la capacidad de las baterías disminuye respecto a la capacidad inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Más peso - Mas coste - Menor comodidad en el transporte
-------------	---	---

Como se vio en el anterior apartado, lo que determinó que fuera mejor el dimensionamiento para los días de temporada alta fue que a medida que se producen los ciclos de carga la capacidad de las baterías va disminuyendo y que dependiendo del desgaste que se haga de la batería influirá en la vida útil. Por ello, si se dimensionan para días habituales (5 viajes) se producirían descargas profundas diariamente y llegaría un momento, en que la capacidad de las baterías haya disminuido tanto en que sea necesario cargar entre viaje y viaje los días de temporada alta.

Por otro lado, respecto a la forma de carga, en el apartado anterior se decidió que la mejor opción para este caso era que las baterías fuesen extraíbles. De manera análoga, en la siguiente tabla se comparan las ventajas y desventajas de que las baterías sean extraíbles o no lo sean:

Tabla 18. Comparativa de las ventajas y desventajas de que las baterías sean extraíbles o no lo sean.

Tipo de carga	Baterías extraíbles	Baterías no extraíbles
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Cargar en casa - Para la forma de carga la inversión solo sería un par de cargadores 	<ul style="list-style-type: none"> - Baterías más baratas - Su peso ayudaría a conseguir más calado y la hélice estaría lo suficientemente profunda para impulsar el agua necesaria para moverse la barca
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Baterías más caras que en el caso de que no lo sean. - Se necesitaría un contrapeso en la parte posterior de la barca para conseguir más calado y esté lo suficientemente profunda para mover el agua necesaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de robo - Inversión en postes de carga

El motivo principal por el que se decantó por las baterías extraíbles fue el hecho de la posibilidad de robo, ya que económicamente en total no había mucha diferencia entre las dos opciones.

No obstante, a modo de disponer mayor seguridad de suministro de energía y de necesitar tiempos de carga menores que los que se consiguen con los cargadores elegidos para las baterías extraíbles, se podría proponer la instalación de un par de postes de carga en el embarcadero municipal. Y así, en vistas a que en el futuro la transición eléctrica se aplique a todas las barcas de la Albufera, los postes de carga puedan ser usados por cualquier barca, si así lo consideran necesario.

6.3. Beneficios de la transición eléctrica

Como se ha dicho, los beneficios de la transición eléctrica no radican en que se ahorre dinero en el combustible, de hecho, no se llega a recuperar la inversión inicial (como se ha visto en el capítulo 5). Radica en otras cosas. Por ejemplo, en el impacto positivo que tiene sobre el medio ambiente (calentamiento global), ya que al final el proceso de generación de electricidad emite menos gases contaminantes que el proceso de la combustión del diésel.

También tiene un impacto positivo en las condiciones laborales de los barqueros, que día a día deben soportar niveles de ruido muy poco saludables (como se ha visto en el capítulo 2), y en las condiciones del ecosistema natural de la Albufera de Valencia. Porque dejarían de haber vertidos de inquemados del proceso de combustión (que siempre hay) y se reduciría considerablemente la contaminación acústica, que favorecería mucho las condiciones de hábitat de las especies de animales, especialmente de las aves (como se ha visto en el capítulo 2).

A modo de representar los beneficios de la transición, en la siguiente tabla se muestra los ahorros en diversos aspectos que se conseguirían en cada viaje:

Tabla 19. Ahorros en cada viaje debido a la transición eléctrica.

Parámetros	Motor diésel	Motor eléctrico	Ahorro
Coste del diésel y de la electricidad (€)	0,67	0,10	0,57 € (85 %)
Emisiones (kg CO ₂)	1,88	0,21	1,67 € (89 %)
Ruido (dB(A))	78,1	56 ¹⁰⁹	22 dB(A)

6.4. Previsiones de futuro del proyecto y alcance

El presente documento es una parte de la planificación del proyecto, concretamente la del estudio de viabilidad y dimensionamiento de los componentes de las barcas eléctricas. Posteriormente, se pretende seguir con el proyecto presentando una candidatura para las convocatorias de ayudas del GALP¹¹⁰ y construir un par de barcas piloto (una de 12 m y otra de 8 m, tamaños típicos de las barcas). Con ello se pretende probar que los prototipos funcionan correctamente y, a partir de ahí, solicitar al gobierno que financien parte de la inversión inicial

¹⁰⁹ Se prevé que haga incluso menos ruido que 56 dB(A), valor propio de una conversación normal.

¹¹⁰ Grupo de acción local de pesca. <https://regp.pesca.mapama.es/regp/galp/grupo-de-accion-local-del-sector-pesquero-la-safor>

(11366,02 €), concretamente se podría realizar una propuesta de que fuese igual o inferior al 78,84 % (Capítulo 5).

Por otro lado, el documento está hecho para la flota de barcas de la Albufera de Valencia, en concreto para las barcas de paseo turístico de la Comunidad de Pescadores de El Palmar. No obstante, se prevé que se aplique también para las barcas de pesca de dicha comunidad de pescadores, y para las de los otros embarcaderos de la Albufera (El Saler, Catarroja, Silla, Gola de Puçol, etc.).

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DEL CASO DE APLICACIÓN

1.1. Necesidad del presupuesto y contenido

Se realiza el presupuesto con el objetivo de caracterizar económicamente el caso de aplicación del modelo de cálculo y dimensionamiento. Concretamente, para el caso de las barcas de paseo turístico del embarcadero de El Tío pastilla, en El Palmar. Para el caso de que las baterías sean extraíbles, por los motivos que se han visto en el capítulo 6 de la memoria.

Se van a definir los costes que conforman el presupuesto desglosado de la propuesta de transición eléctrica del sistema de propulsión de las barcas de paseo turístico que actualmente el sistema de propulsión es diésel.

1.2. Presupuesto

Concepto	Detalles	Precio unitario (€/ud)	Unidades (ud)	Precio (€)
Pack "motor eléctrico + controlador"	<p>El pack ofrece la empresa E-TECH incluye los siguientes componentes:</p> <ul style="list-style-type: none">- Motor eléctrico de imán permanente sin escobillas (BLDC). Modelo 4 WG. Las características del motor son:<ul style="list-style-type: none">▪ Potencia: 4,3 kW, medido en el eje▪ rpm: 1100▪ Esfuerzo de torsión: 38 Nm▪ Voltaje: 48 V▪ Enfriamiento: agua- Controlador de motor apropiado- Pantalla completa con monitor de batería.- Cable de dirección del controlador al motor (estándar de 2 metros), con enchufe inconfundible- Llave de encendido en el tablero- Joystick (montaje lateral o superior)- Conexión de cables entre el controlador y la posición de dirección (estándar de 5 metros), con enchufes inconfundibles- Interruptor principal- Fusible principal- Manual de usuario y programa de instalación	5043	1	5043

	No se pudo saber el precio de cada componente pues puede variar dependiendo del caso de aplicación. No obstante, se pudo conocer el precio del sistema de propulsión en global, a excepción de las baterías y el cargador.			
Baterías ion-litio	Baterías seleccionadas de la empresa tutiendaenergética.es, con una capacidad de 7,81 kWh y una tensión de 48 V.	1825,77	2	3651,54
Cargador	Cargador de la empresa NX, con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - Intensidad admisible: 15 A - Voltaje: 58,8 V - Potencia: 0,882 kW 	335,74	2	671,48
Mano de obra	No se pudo encontrar un presupuesto para ello. Por ello, se ha aproximado al coste de la transición eléctrica de un coche. Se ha tenido en cuenta que se hace para un gran grupo de barcas, para que el precio del estudio que tiene que hacer el instalador sea el mismo para todas las barcas.	2000	1	2000
Beneficio empresarial	Las horas que se le ha dedicado al proyecto por parte de los que se han encargado de realizarlo. Normalmente corresponde alrededor del 8 % del coste total, pero en el contrato laboral de prácticas del alumno se ha estipulado 5 €/h.	5 €/h	450 h	2250
Precio total				13616,02

PLANOS

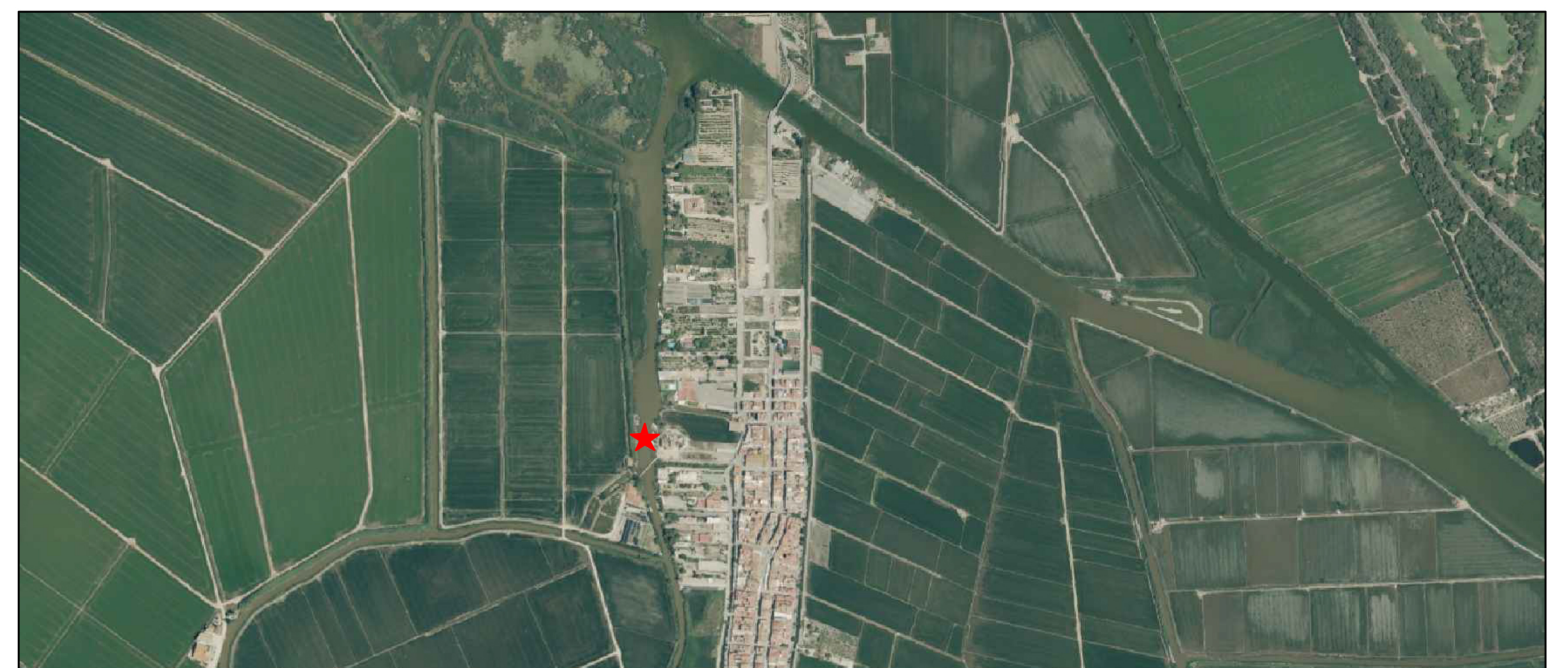
2. PLANOS DE LA INSTALACIÓN DE LOS POSTES DE CARGA EN EL EMBARCADERO MUNICIPAL DE EL PALMAR

2.1. Organización de los planos

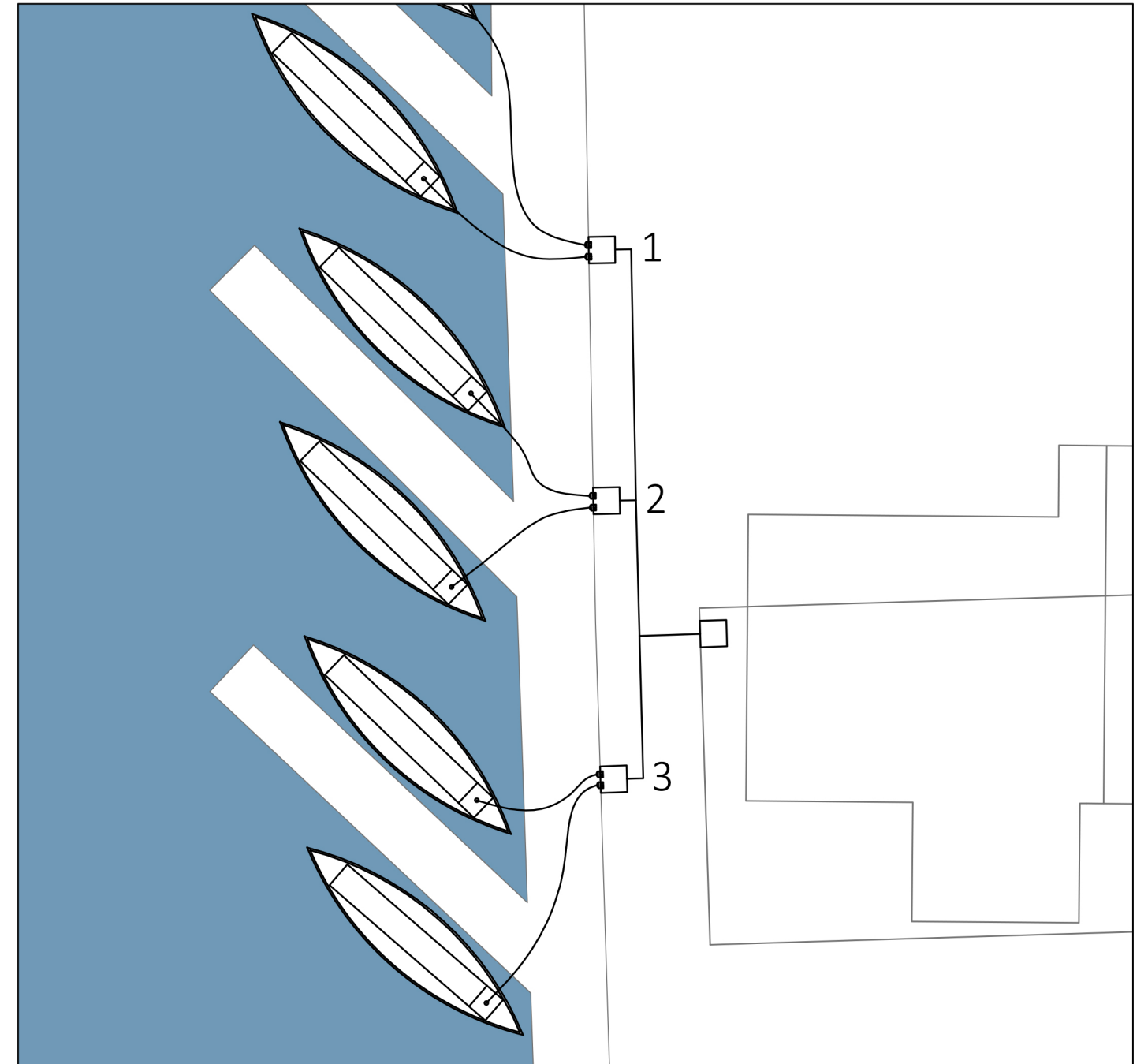
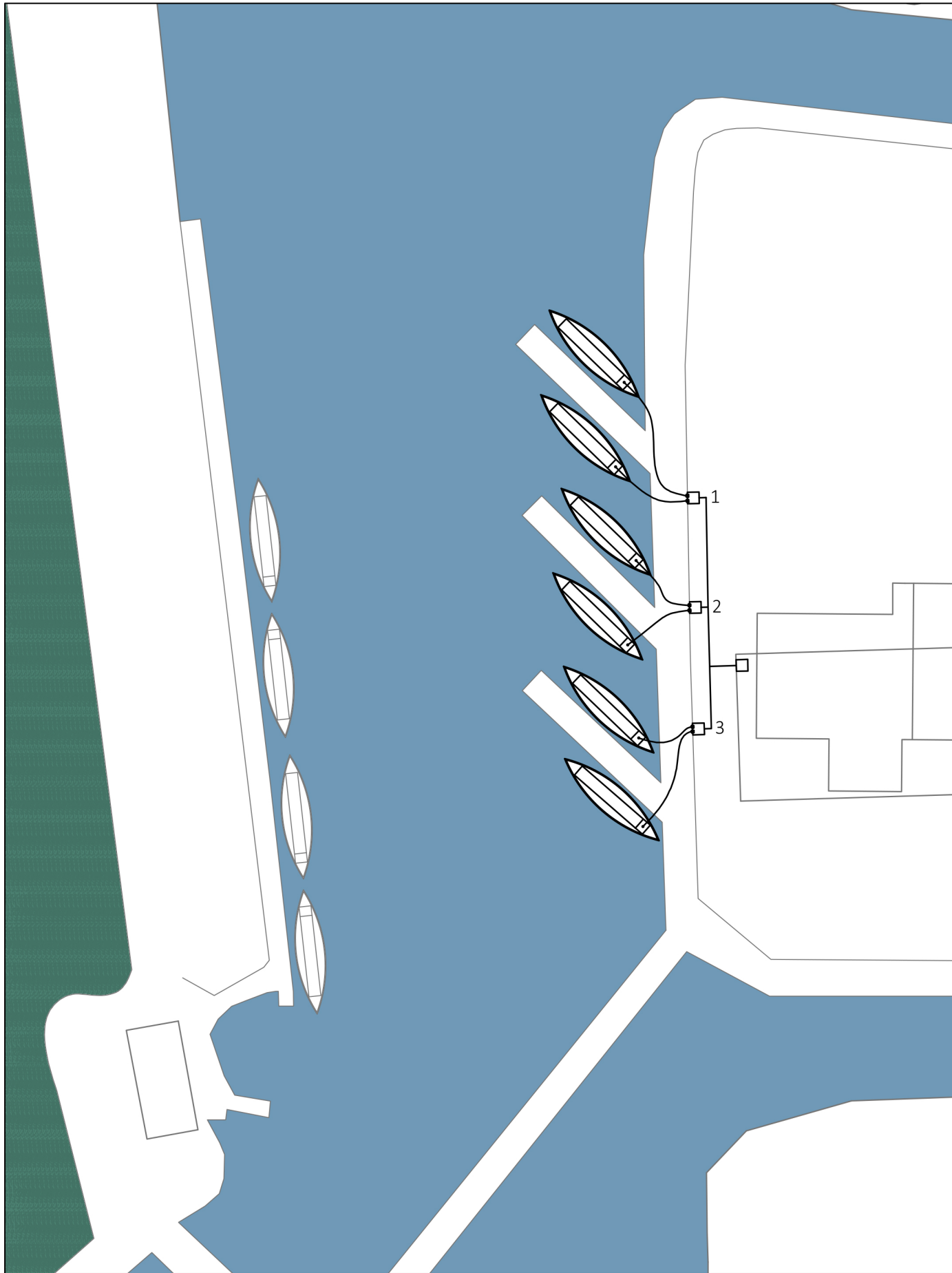
- **Plano 1:** Ubicación de la Albufera de Valencia, El Palmar y el embarcadero municipal de El Palmar.
- **Plano 2:** Implantación de los puntos de recarga en el embarcadero municipal de El Palmar.

2.2. Formato y presentación

Dichos planos se representarán a continuación en formato A3 (420 x 270 mm) y se doblarán conforme a la norma, por lo pliegues facilitados por el cajetín de la ETSII.



LEYENDA	
CONTORNO REGIÓN ALBUFERA	—
CONTORNO REGIÓN EL PALMAR	—
EMPLAZAMIENTO PUNTOS DE RECARGA	★



Detalle de los postes de carga a E1:250

Coordenadas geográficas					
Puntos	Latitud	Longitud	X	Y	Potencia (KW)
1	39°18'43.9"N	0°19'11.6"W	39.312181	-0.319882	7.2
2	39°18'43.4"N	0°19'11.6"W	39.312046	-0.319887	22
3	39°18'42.9"N	0°19'11.6"W	39.311910	-0.319889	7.2

ANEXOS

ANEXO A. TABLAS DE INTERÉS

1.1. Introducción al anexo

En el presente documento se van a concretar parte de algunos aspectos de la memoria que conviene resaltar. Aspectos como la relación entre la velocidad de la embarcación y la altura de las olas (que pueden provocar erosión en la orilla), los límites de concentración de gases contaminantes en el aire y la comparación de características de diferentes postes de carga.

1.2. Presentación de las tablas de interés

En la siguiente tabla se muestra la relación de la velocidad y la altura de las olas que genera el paso de embarcaciones a motor (Cook, 1985; Fleit et al., 2016).

Tabla 20. Resultados de las pruebas de velocidad/altura de las olas hechas por Tasmanian NPWS

Carrera N.º	Barca	r.p.m.	Velocidad (km/h)	Altura de las olas
1	A	800	20	> 20 cm
2	A	900	22	> 30 cm
1	B	900	17	> 15 cm
2	B	1000	19	> 20 cm

En la siguiente tabla se muestran los valores límites de concentración del Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire¹¹¹.

Tabla 21. Límites de concentración de contaminantes en la atmósfera.

Compuesto	Valor límite ¹¹² / Objetivo / Umbral de alerta	Concentración	N.º máximo de superaciones
SO₂	Media horaria	350 µg/m ³	24 horas/año
	Media diaria	125 µg/m ³	3 días/año
	Umbral de alerta (3 horas consecutivas en área representativa de 100 km o zona o aglomeración entera)	500 µg/m ³	
	Media anual e invierno (del 1 de octubre al 31 de marzo). Nivel crítico para la protección de la vegetación y ecosistemas	20 µg/m ³	
NO₂	Media horaria	200 µg/m ³	18 horas/año
	Media anual	40 µg/m ³	
	Umbral de alerta (3 horas consecutivas en área representativa de 100 km o zona o aglomeración entera).	400 µg/m ³	
	Nivel crítico para la protección de la vegetación y ecosistemas. Media anual.	30 µg/m ³	
PM₁₀	Media diaria	50 µg/m ³	35 días/año

¹¹¹ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>

¹¹² Los valores límite y el nivel crítico se expresarán en µg/m³ y el volumen referido a una temperatura de 293 K y a una presión de 101,3 kPa.

	Media anual	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM_{2,5}	Media anual	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Pb	Media anual	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Benceno	Media anual	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CO	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	10 mg/m^3	
Arsénico	Media anual	6 ng/m^3	
Cadmio	Media anual	5 ng/m^3	
Níquel	Media anual	20 ng/m^3	
Benzo(a)pireno (B(a)P)	Media anual	1 ng/m^3	
O₃	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 días/año
	Umbral de información ¹¹³ . Media horaria	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Umbral de alerta ¹¹⁴ . Media horaria	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Valor objetivo para la protección de la vegetación. AOT40 ¹¹⁵ , calculado a partir de valores horarios de mayo a julio.	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$ de promedio en un período de 5 años	
	Objetivo a largo plazo para la protección de la vegetación. AOT40, calculado a partir de valores horarios de mayo a julio.	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$	

En la siguiente tabla se comparan parámetros de diferentes postes de carga. De los fabricantes CIRCUTOR, INGEREV y Selba. Para ello, se ha consultado las fichas técnicas que cada modelo. Respecto al precio de instalación, se ha consultado a varios instaladores y oscila alrededor de 10000 €, por ello se ha considerado el mismo precio para todos los casos.

¹¹³ Nivel de un contaminante a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana de los grupos de población especialmente vulnerables.

¹¹⁴ Nivel de concentración de un contaminante a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana que afecta al conjunto de la población.

¹¹⁵ Acrónimo de «Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 Parts Per Billion», se expresa en $[\mu\text{g}/\text{m}^3] \times \text{h}$ y es la suma de la diferencia entre las concentraciones horarias superiores a los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, equivalente a 40 nmol/mol o 40 partes por mil millones en volumen, y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a lo largo de un período dado utilizando únicamente los valores horarios medidos entre las 8:00 y las 20:00 horas, HEC, cada día, o la correspondiente para las regiones ultraperiféricas.

Tabla 22. Comparación de los postes de carga. Fuente: (CIRCUTOR, 2019c, 2019b, 2019a; INGEREV, 2019; Selba, 2019; Wallbox, 2019)

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	ALTERNATIVA 5	ALTERNATIVA 6
EMPRESA FABRICANTE	CIRCUTOR	CIRCUTOR	CIRCUTOR	INGEREV	Selba	CIRCUTOR
MODELO	RAPTION 50 TRIO	RVE2-PT3 3G, 2x22 kW y tipo II	URBAN T22 2x22 kW y tipo II	INGEREV CITY DUO CD332	SL1014	URBAN M22 2x7,2 kW y tipo II
POTENCIA UNITARIA (kW)	50	22	22	22	22	7,2
TIPOS DE CARGA	3 y 4	1, 2 y 3	1, 2 y 3	1, 2 y 3	1, 2 y 3	1 y 2
TOMAS DISPONIBLES	2 (+ 1 AC 22 kW)	2	2	2	2	2
TENSIÓN DE ENTRADA (V)	400 c.a.	230 / 400 c.a.	400 c.a.	400 c.a.	400 c.a.	230 c.a.
INTENSIDAD SALIDA MÁXIMA (A)	120	32	32	32	32	32
RANGO DE TEMPERATURAS DE TRABAJO (°C)	[-10,55]	[-5,45]	[-5, 45]	[-25, 50]	[-25, 45]	[-5, 45]
PROTOCOLOS DE INTEGRACIÓN	OCP y XML	OCP y XML	OCP y XML	OCP (opcional)	OCP	OCP y XML
PROTOCOLO CONECTIVIDAD	Ethernet y 4G / GPRS / GSM	Ethernet y 3G	Ethernet y 3G	Ethernet y 3G	RS-485, Ethernet 3G (opcional)	Ethernet y 3G
PROTECCIÓN DE LA ENVOLVENTE	IP54/IK10 de acero inoxidable	IP54/IK10 de poliuretano antivandálica	IP54/IK10 de aluminio y plástico ABS	IP54/IK10 de poliuretano	IP54/IK08	IP54/IK10 de aluminio y plástico ABS
ANCHO (m)	0,35	0,38	0,45	0,257	0,3	0,45
FONDO (m)	0,9	0,28	0,29	0,254	0,18	0,29
ALTO (m)	1,8	1,59	1,55	1,455	1,39	1,55
COSTE (€)	32470	5795	4034,75	3763	4100	3713,49
COSTE INSTALACIÓN (€)	10000 ¹¹⁶	10000	10000	10000	10000	10000
COSTE TOTAL (€)	42470	15795	14034,75	13763	14100	13713,49

Se iba a elegir la alternativa 4 porque es la más barata pero no quedaban ejemplares. Por eso se eligió la alternativa 3, la siguiente más barata.

¹¹⁶ El coste de la instalación es el resultado del mejor precio una vez que se ha consultado a varios instaladores. Es aproximado pues para que sea exacto tendrían que ver el lugar donde irán instalados los postes.

ANEXO B. CATÁLOGOS

2.1. Introducción al anexo

En el presente anexo se van a mostrar las fichas técnicas y datos de interés de los componentes seleccionados en la memoria. Las fichas técnicas del motor y controlador, baterías y el cargador elegidos. También se adjunta la ficha técnica de los postes de carga elegidos.

2.2. Fichas técnicas de los componentes de la propulsión eléctrica.

2.2.1. Datos de interés de las baterías de ion-litio seleccionadas

En la siguiente tabla se presentan algunos datos de las características de las baterías de ion-litio seleccionadas, de la empresa tutiendaenergética:

Tabla 23. Características de las baterías seleccionadas.

Características	
Capacidad (kWh)	7,81
Tensión (V)	48
Profundidad (Ah)	162,75
Vida útil (ciclos carga-descarga)	1500
Peso (kg)	32
Coste (€)	3651,54 (IVA incluido)

Por otro lado, en los packs de las baterías vienen instalados un sistema de gestión (BMS) con el fin de controlar en todo momento las baterías. Para evitar calentamientos perjudiciales en el funcionamiento de las celdas¹¹⁷, diferencias de voltajes, etc. que puedan producir desequilibrios entre las celdas y reducir la eficiencia del pack.

Esto lo consigue obligando a la batería a funcionar dentro de su área de operación segura (en caso contrario se dispararían dispositivos de seguridad), evitando así sobretensiones (durante la carga), sobrecorrientes, bajo voltaje (durante la descarga), entre otros. Además, se podrán calcular datos útiles como el estado de carga, energía entregada, tiempo de funcionamiento, entre otros (Torrejón Pérez, 2010).

Para más datos ir a <https://www.tutiendaenergetica.es/>

¹¹⁷ Las baterías están compuestas por celdas, con unas características de Ah (Amperios·hora) y V (Voltios) específicas que, conectándolas en serie y en paralelo, se puede conseguir en total los Ah y V deseados para la batería.

2.2.2. Ficha técnica de los postes de carga seleccionados.



URBAN

Postes para recarga exterior



Descripción

Los postes para exterior deben resistir a las diversas condiciones ambientales y posibles actos vandálicos, toda vez que deben simplificar el proceso de instalación y mantenimiento para los operadores. Con los postes **URBAN** se ha conseguido reducir el tiempo de instalación y simplificar las tareas de operación y mantenimiento.

Los equipos **URBAN** facilitan las tareas de recarga a los distintos usuarios de VE, incorporando todas las protecciones eléctricas necesarias para garantizar una plena seguridad en el interior de un cuerpo metálico de aluminio. Disponer de tomas Tipo II y/o tomas Schuko en diversas combinaciones, posibilitando la recarga en Modo 1-2 y Modo 3 en función de la configuración escogida. La serie Smart **URBAN 20** para donde se necesite ofrecer las máximas prestaciones que exige el mercado, se precise de gestión y monitorización con control remoto o integrarse en plataformas de gestión basadas en el protocolo OCPP 1.5 y 1.6.

Con posibilidad de protección diferencial tipo A ó tipo B con ó sin reconexión automática. Disponibilidad de tapas antivandálicas en modelos con una única toma individual en cada lateral.

Aplicaciones

Los postes URBAN son especialmente adecuados para todo tipo de aparcamientos en interperie. Sus aplicaciones se extienden desde plazas en vía pública, grandes superficies, aeropuertos, empresas de venta y alquiler de vehículos, aparcamientos privados, etc.

Características técnicas

Conexión	Tipo de conector	Tipo I, Tipo II (según IEC 62196-2) ó Schuko
	Tipo de carga	Carga en Modo 1 / 2 (Schuko) Carga en Modo 3 (según IEC 61851-1)
Características eléctricas	Tensión de entrada	230 Vca / 400 Vca
	Tolerancia	±10%
	Frecuencia de entrada	50...60 Hz
	Tensión de salida	230 Vca / 400 Vca
	Corriente máxima de salida	16 A / 32 A según tipo
	Rango de potencia de salida	3,6 / 7,2 / 22 kW
	Medida de potencia (URBAN 20)	Contador (MID Clase 1 EN 50470-3)
Protecciones eléctricas	Medida de energía (URBAN 20)	Contador (MID Clase 1 EN 50470-3)
	Balaceo de potencia entre tomas	Modelos M22, T22, M22-C1 y T22-C2
	Protección diferencial	RCD Tipo A (30 mA) RCD Tipo A (30 mA) con reconexión automática (opcional) RCD Tipo B (opcional) RCD Tipo B con reconexión automática (opcional)
	Protección magnetotérmica	MCB (curva C)
	Protección diferencial	RCD Tipo A (30 mA)
Interfaz	Baliza luminosa	Indicación luminosa de estado de carga RGB
	Control de acceso (URBAN 20)	Tarjeta sistema RFID
	Frecuencia de trabajo RFID (URBAN 20)	ISO / IEC 14443A/B MIFARE Classic / DESFire EV1 ISO 18092 / ECMA-340 NFC 13.56 MHz ISO 14443 A
Comunicaciones (URBAN 20)	Lector RFID (URBAN 20)	ISO 14443 A
	Tipo	Ethernet, 3G (opcional)
Características constructivas	Protocolo	OCPP, XML
	Envoltorio	Aluminio y plástico ABS
	Dimensiones	450 mm x 290 mm x 1550 mm
	Peso	55 kg
	Grado protección mecánica	IK 10
	Grado protección	IP 54
Seguridad	Fijación	Fijación al suelo con 4 pernos
	Categoría III – 300 Vc.a. (EN 61010)	Protección contra choque eléctrico por doble aislamiento clase II
Normas	EN 61851-1 : 2001 parte1, IEC 61000, IEC 60364-4-41, IEC 61008-1, IEC 60884-1 , IEC 60529, IEC 61010, UNE-EN55011, ISO 14443A	



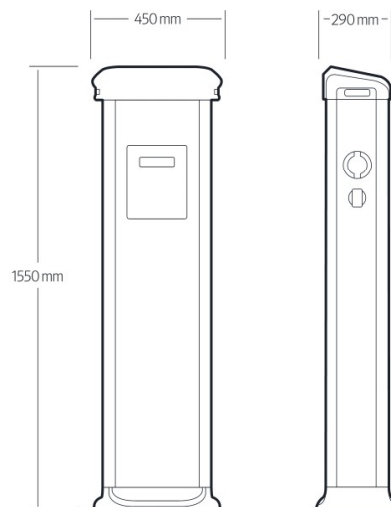
URBAN

Postes para recarga exterior

Referencias

URBAN 20						
Tipo	Código	Nº conectores	Tipo conector	Alimentación	Características eléctricas	3G
URBAN M22	V10622.	2	Tipo II, Tipo II	Monofásica	230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW 230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW	-
URBAN M22 3G	V106220010000	2	Tipo II, Tipo II	Monofásica	230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW 230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW	Si
URBAN T22	V10623.	2	Tipo II, Tipo II	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW 400 V _{ca} , 32 A, 22 kW	-
URBAN T22 3G	V106230010000	2	Tipo II, Tipo II	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW 400 V _{ca} , 32 A, 22 kW	Si
URBAN M22-C1	V10625.	2	Cable Tipo I, Cable Tipo I	Monofásica	230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW 230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW	-
URBAN M22-C1 3G	V106250010000	2	Cable Tipo I, Cable Tipo I	Monofásica	230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW 230 V _{ca} , 32 A, 7,2 kW	Si
URBAN T22-C2	V10626.	2	Cable Tipo II, Cable Tipo II	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW 400 V _{ca} , 32 A, 22 kW	-
URBAN T22-C2 3G	V106260010000	2	Cable Tipo II, Cable Tipo II	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW 400 V _{ca} , 32 A, 22 kW	Si
URBAN T24-MIX	V10627.	2 (4)	Tipo II / Schuko, Tipo II / Schuko	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW / 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW 400 V _{ca} , 32 A, 22 kW / 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW	-
URBAN T24-MIX 3G	V106270010000	2 (4)	Tipo II / Schuko, Tipo II / Schuko	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW / 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW 400 V _{ca} , 32 A, 22 kW / 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW	Si
URBAN T22-MIX	V10629.	2	Tipo II, Schuko	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW	-
URBAN T22-MIX 3G	V106290010000	2	Tipo II, Schuko	Trifásica	400 V _{ca} , 32 A, 22 kW 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW	Si
URBAN M22-S	V1062B.	2	Schuko, Schuko	Monofásica	230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW	-
URBAN M22-S 3G	V1062B0010000	2	Schuko, Schuko	Monofásica	230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW 230 V _{ca} , 16 A, 3,6 kW	Si

Dimensiones



2.2.3. Ficha técnica y datos de interés del motor eléctrico y controlador seleccionados.

E-TECH WG Innenbord Motoren / E-TECH WG inboard engines

Ultramoderne Elektro-Motoren für Wellenantrieb. Passend für jedes Motorfundament, und auf jede Schraubenwelle. Wellenenden an beide Seiten des Motors erlauben eine einfache und schnelle Linien - Hybrid Konfiguration möglich.

Ultra modern electric engines to be mounted on the propeller shaft. Fit any engine bed, and any propeller shaft. With shaft endings on both ends of the engine to make an easy and quick in-line hybrid configuration

Komplettes System inklusiv:

- Innenbord Motor (IP67)
- Geeignete Motorsteuerung
- Vollständige Anzeige mit Batteriemonitor
- Joystick (seitliche oder obere Montage)
- Zündschloss
- Steuerkabel vom Controller bis Motor (Standard 2 Meter).
- Verbindungskabel zwischen Controller und Steuerstand (Standard 5 Meter)
- Vollständig integriertes Kühlsystem für den Motor: Wasserkühlung im geschlossenen Kreislauf mit Push-In Verbindungen; ab 10 kWatt auch Wasserkühlung für den Controller
- Hauptschalter
- Hauptsicherung
- Handbuch und Installations Schema

Nb. Schraube separat zu bestellen.

Complete system inclusive:

- Inboard motor (IP67)
- Appropriate motor controller
- Comprehensive display with battery monitor
- Joystick (side- or top mounting)
- Ignition key on the dashboard
- Steering cable from controller to engine (standard 2 meter), with non-mistakable plug
- Connecting cables between controller and steering position (standard 5 meter), with non-mistakable plugs
- For engines with water cooling (10kWatt and higher): integrated cooling circuit for the controller with Quick-Click connections
- Main switch
- Main fuse
- User manual and installation schedule

Nb. Propeller to be ordered separately

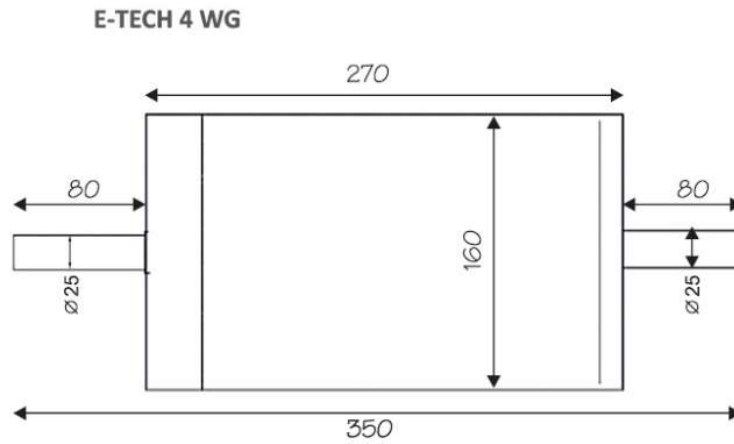


Motor / Engine	Voltage	kWatt*	Umdreh/min / RPM	Drehmoment / Torque	Kühlung / Cooling
4 WG	48	4,3	1100	38 Nm	Wasser / Water
7 WG	48	7,1	1200	47 Nm	Wasser / Water
10 WG	48	10	1200	95 Nm	Wasser / Water
15 WG	72	15	1400	98 Nm	Wasser / Water
20 WG	96	20	1600	104 Nm	Wasser / Water

*Alle kWatt Angaben sind an der Welle gemessen / *kWatt measured on the shaft



Las dimensiones del motor son las siguientes:



E-TECH 4WG ENGINE SCHEME

En el precio del motor + controlador van incluidos todos los cables, fusibles y sistema de seguridad, pantalla completa con monitor de batería, entre otras cosas. En la siguiente imagen se muestran los componentes que van incluidos:



2.2.4. Datos de interés de los cargadores seleccionados.

En la siguiente tabla se presentan algunos datos de las características de los cargadores seleccionados, de la empresa allbateries:

Tabla 24. Características de los cargadores seleccionados.

Características	
Tensión salida (V)	58,8
Corriente salida (A)	15
Peso (kg)	3
Coste (€)	335,74 (IVA incluido)

Para más datos ir a <http://www.all-batteries.es/>

BIBLIOGRAFIA

- Adams, C. E. (1993). Environmentally sensitive predictors of boat traffic loading on inland waterways. *Leisure Studies*, 12(1), 71–79. <https://doi.org/10.1080/02614369300390061>
- Adams, C. E., Tippett, R., Nunn, S., & Archibald, G. (1992). The utilization of a large inland waterway (Loch Lomond, Scotland) by recreational craft. *Scottish Geographical Magazine*, 108(2), 113–118. <https://doi.org/10.1080/00369229218736853>
- Ahadme Yahyai, H. (2017). Estudio y diseño de una embarcación de 18,5 metros de eslora. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/107573>
- Alcázar Ortega, M. (2019). Tarificación. Mercados energéticos.
- Amoser, S., Wysocki, L. E., & Ladich, F. (2004). Noise emission during the first powerboat race in an Alpine lake and potential impact on fish communities. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3789–3797. <https://doi.org/10.1121/1.1808219>
- Bate, J. (1985). *Planning and management procedures of the water resources commission of New South Wales. Proceedings of the Workshop on the Recreational Use of Urban Water Storages and Their Environs. Australian Government Printing Service, Canberra.*
- Becker, A., Whitfield, A. K., Cowley, P. D., Järnegren, J., & Næsje, T. F. (2013). Does boat traffic cause displacement of fish in estuaries? *Marine Pollution Bulletin*, 75(1–2), 168–173. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2013.07.043>
- Bellver, C. C., & Yebra, D. (2018). *Estudio y diseño de una hélice para el yate Viudes 45.* Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/119369/136766_TFG.pdf
- Bruintjes, R., & Radford, A. N. (2013). Context-dependent impacts of anthropogenic noise on individual and social behaviour in a cooperatively breeding fish. *Animal Behaviour*, 85(6), 1343–1349. <https://doi.org/10.1016/J.ANBEHAV.2013.03.025>
- Burton, J. (1975). The Recreational Use of Malpas Reservoir. *Report to the Armidale City Council. University of New England, Armidale.*
- Carreras, R., Álvarez Flórez, J. A., & Callejón Agramunt, I. (2005). *Motores alternativos de combustión interna.* Universitat Politècnica de Catalunya.
- Casanova, C. B. (2019). *ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL TRÁFICO MARÍTIMO BARCELONA-BALEARES Alumna.* Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5020/ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL TRÁFICO MARÍTIMO BARCELONA.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5020/ESTUDIO%20DEL%20IMPACTO%20AMBIENTAL%20DEL%20TRÁFICO%20MARÍTIMO%20BARCELONA.pdf)
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Murrieta, J. E. (2007). *Mecánica de fluidos : fundamentos y aplicaciones.* Retrieved from https://polibuscador.upv.es/primo-explore/fulldisplay?docid=alma2174003000003706&context=L&vid=bibupv&lang=en_US

&search_scope=ALL&adaptor=Local Search
Engine&isFrbr=true&tab=default_tab&query=any,contains,mecanica de fluidos
yunus&sortby=date&facet=frbrgr

- Chávez Miranda, J. R. (2006). Ruido laboral. *Ciencia y Trabajo*, 8. Retrieved from www.cienciaytrabajo.cl
- CIRCUTOR. (2019a). *Ficha técnica RVE2-PT3 3G, 2x22 kW, tipo II*.
- CIRCUTOR. (2019b). *Ficha técnica URBAN T22*.
- CIRCUTOR. (2019c). *RAPTION 50 TRIO*.
- Cook, C. (1985). Tourist boats erode banks of Gordon River. *Australian Ranger Bulletin*, 3, 3, 26--27.
- E.B.I. DueroDouro. (2019). Investigación Lago de Sanabria .- Área de Investigación - Duero Douro.
- E, T. M. (1973). Water Resources and Recreation. *Sports Council, London*, 3.
- Energy, D. of R. and. (1987). Desirable Guidelines for the Recreational Use of Urban Water Storages and Their Catchments. Canberra: Australian Government Publishing Service.
- Ferreiro Castiñeira, J. L. (2016). *Estudio de eficiencia de un motor principal*. Retrieved from https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17746/FerreiroCastiñeira_JoseLuis_TF_G_2016.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Fleit, G., Baranya, S., Rütger, N., Bihs, H., Krámer, T., & Józsa, J. (2016). Investigation of the Effects of Ship Induced Waves on the Littoral Zone with Field Measurements and CFD Modeling. *Water*, 8(7), 300. <https://doi.org/10.3390/w8070300>
- Francis, C. D., & Barber, J. R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305–313. <https://doi.org/10.1890/120183>
- Garrad, PN y Hey, R. (1988). Efecto del tráfico de barcos en el régimen del río. *Conferencia Internacional Sobre El Régimen Del Río. Hydraulics Research Limited, Wallingford, Oxon Reino Unido. 1988. p. 395-409, 7 Fig., 14 Ref.*
- Generalitat Valenciana. (2019a). Fauna.
- Generalitat Valenciana. (2019b). Fauna - Generalitat Valenciana. Retrieved March 11, 2019, from <http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/fauna-3817>
- Generalitat Valenciana. (2019c). Flora y vegetación. Retrieved March 7, 2019, from <http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/flora-y-vegetacion>
- Graham, A. L., & Cooke, S. J. (2008). The effects of noise disturbance from various recreational boating activities common to inland waters on the cardiac physiology of a freshwater fish, the largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(7), 1315–1324. <https://doi.org/10.1002/aqc.941>
- Grégoire, A. (1983). Etude hydrobiologique d'une rivière aménagée : le Verdon Les lacs de barrage et les tronçons de cours d'eau à débit régulé Résumé de l'étude présentée à la Société Hydrotechnique de France par. <https://doi.org/10.1051/lhb/1983009>
- H., S. R. & H. H. (1968). Water pollution by out- board motors. *The Conservationist*, 22, 6–8.

- Havera, S. P., Boens, L. R., & Shealy, M. M. G. y R. T. (2006). Alteración humana de aves acuáticas en la piscina Keokuk, río Mississippi. *Boletín de La Sociedad de Vida Silvestre (1973-2006)*. WileyWildlife Society. <https://doi.org/10.2307/3783033>
- Hilton, J., & Phillips, G. L. (1982). The Effect of Boat Activity on Turbidity in a Shallow Broadland River. *The Journal of Applied Ecology*, 19(1), 143. <https://doi.org/10.2307/2402998>
- HODGES, R. (1991). RIPARIAN DAMAGE FROM BOATING. *Australian Planner*, 29(2), 101–106. <https://doi.org/10.1080/07293682.1991.9657513>
- Horsfall, Louise and Jelinek, Ann and Timms, B. V. (1988). The influence of recreation, mainly power boating, on the ecology of the Thirlmere Lakes, NSW, Australia: With 1 figure and 3 tables in the text. *Internationale Vereinigung Für Theoretische Und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 23 (1)(Taylor & Francis), 580--587.
- Industrials, E., & Bergad, J. M. (2006). Mecánica de fluidos. Problemas resueltos.
- INGEREV. (2019). *Ficha técnica INGEREV CITY Duo*.
- J. A. García. (2018). Los titulares de embarcaciones desconocen la resolución de prohibir los motores de gasolina - La Opinión de Zamora.
- Jackivicz, T. P., & Kuzminski, L. N. (1973). The effects of the interaction of outboard motors with the aquatic environment—A review. *Environmental Research*, 6(4), 436–454. [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(73\)90058-3](https://doi.org/10.1016/0013-9351(73)90058-3)
- Jahrsdoerfer, S. E., & Leslie, D. M. . J. (1988). Tamaulipan Brushland of the Lower Rio Grande Valley of South Texas: Description, Human Impacts, and Management Options.
- Jansen, A., van Deursen, B., & Howe, C. (2012). The aerodynamics of sailing apparel. *Procedia Engineering*, 34, 50–55. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2012.04.010>
- Javier Silva Herrera. (2019). Ruido afecta trinar de las aves - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. Retrieved March 13, 2019, from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-3581257>
- Jenssen, B. M. (1994). Review article: Effects of oil pollution, chemically treated oil, and cleaning on thermal balance of birds. *Environmental Pollution*, 86(2), 207–215. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(94\)90192-9](https://doi.org/10.1016/0269-7491(94)90192-9)
- Juan-García Aguado, J. M. de. (1993). *Principios de teoría del buque : dinámica*. Retrieved from https://polibuscador.upv.es/primo-explore/fulldisplay?vid=bibupv&id=990000847970203706&inst=34UPV_INST&context=L&lang=en_US
- Jude, D. J., Tesar, F. J., & Tin, H. T. (1998). Spring Distribution and Abundance of Larval Fishes in the St. Marys River, With a Note on Potential Effects of Freighter Traffic on Survival of Eggs and Larvae. *Journal of Great Lakes Research*, 24(3), 569–581. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(98\)70845-7](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(98)70845-7)
- Kirk, J. T. O. (1985). Effects of suspensoids (turbidity) on penetration of solar radiation in aquatic ecosystems. *Hydrobiologia*, 125(1), 195–208. <https://doi.org/10.1007/BF00045935>
- Krantz, Steven George, & Krantz. (2003). *CALCULUS DEMYSTIFIED*. McGraw-Hill. Retrieved from <http://weblibrary.apeiron-uni.eu:8080/WebDokumenti/14192-Pages from Calculus Demystified McGraw-Hill.pdf>

- Kuss, Fred R y Graefe, Alan R y Vaske, J. J. (1990). Visitor Impact Management, *1*, 187--217.
- La Provenza. (2019). Parque Natural del Verdon.
- Lewandowski, E. M. (2004). *The dynamics of marine craft : maneuvering and seakeeping*. World Scientific.
- Liddle, M. J., & Scorgie, H. R. A. (1980). The effects of recreation on freshwater plants and animals: A review. *Biological Conservation*, *17*(3), 183–206.
[https://doi.org/10.1016/0006-3207\(80\)90055-5](https://doi.org/10.1016/0006-3207(80)90055-5)
- López Martínez, J. M., & Sánchez Alejo, J. (2008). *Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión Energy consumption and emissions associated with transportation by car and truck*. Retrieved from <http://www.enertrans.es>
- Mañana Canteli, M. (2013). *Regulación, control y protección de máquinas eléctricas*. Retrieved from http://www.diee.unican.es/diee/mmc_1.htmlmananam@unican.es
- Mann, D. K., Hammitt, W. E., & Cole, D. N. (2007). Wildland Recreation Ecology and Management. *Journal of Range Management*, *52*(6), 678.
<https://doi.org/10.2307/4003641>
- Marchant, J. A., & Hayde, P. A. (1980). Aspects of the distribution of riparian birds on waterways in Britain and Ireland. *Bird Study*, *27*(3), 183–202.
<https://doi.org/10.1080/00063658009476678>
- Mastran, T. A., Dietrich, A. M., Gallagher, D. L., & Grizzard, T. J. (1994). Distribution of polyaromatic hydrocarbons in the water column and sediments of a drinking water reservoir with respect to boating activity. *Water Research*, *28*(11), 2353–2366.
[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90051-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90051-5)
- McKenzie, L. and. (1986). Survey of Existing and Potential Recreation Uses of the Water Board's Catchments and Storages. *Metropolitan Water, Sewerage a.*
- Mosisch, T. D., & Arthington, A. H. (1998). The impacts of power boating and water skiing on lakes and reservoirs. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, *3*(1), 1–17.
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.1998.tb00028.x>
- Mosisch, T. D., & Arthington, A. H. (2001). Polycyclic aromatic hydrocarbon residues in the sediments of a dune lake as a result of power boating. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, *6*(1), 21–32. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2001.00117.x>
- Moss, B. (1977). Conservation problems in the norfolk broads and rivers of East Anglia, England—Phytoplankton, boats and the causes of turbidity. *Biological Conservation*, *12*(2), 95–114. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(77\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0006-3207(77)90064-7)
- Mueller, G. (1980). Effects of Recreational River Traffic on Nest Defense by Longear Sunfish. *Transactions of the American Fisheries Society*, *109*(2), 248–251.
[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1980\)109<248:EORRTO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1980)109<248:EORRTO>2.0.CO;2)
- Munawar, M., Norwood, W. P., & McCarthy, L. H. (1991). A method for evaluating the impact of navigationally induced suspended sediments from the Upper Great Lakes Connecting Channels on the primary productivity. *Hydrobiologia*, *219*(1), 325–332.
<https://doi.org/10.1007/BF00024765>
- Murphy, KJ and Willby, Nigel J and Eaton, J. W. (1995). Ecological impacts and management of boat traffic on navigable inland waterways. *The Ecological Basis for River Management*, 42(John Wiley: Chichester), 427--432.

- Murphy, K. J., & Eaton, J. W. (1983). Effects of Pleasure-Boat Traffic on Macrophyte Growth in Canals. *The Journal of Applied Ecology*, 20(3), 713. <https://doi.org/10.2307/2403122>
- Mužinić, J., & Filipović, M. (2006). The Plitvice Lakes: World's Natural Heritage. *Croatian Medical Journal*, 47(1), 1.
- Office of the Commissioner for the Environment. (1988). *Victoria's Inland Waters*.
- Open Charge Alliance. (2019). Protocolos.
- Pablo Lledó. (2019). *COMPARACION ENTRE DISTINTOS CRITERIOS DE DECISIÓN INDICE*.
- Partei des Demokratischen Sozialismus. Landesverband Sachsen-Anhalt., F. M. (2014). *Beschlüsse des ... Landesparteitages der Partei des Demokratischen Sozialismus, Landesverband Sachsen-Anhalt. Gaceta Sansana* (Vol. 1).
- Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*.
- Peña Ordóñez, C. (2011). *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. Retrieved from https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordenez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Perpina, R. B., & Martin, H. (2015). *EL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL Vibro-Acoustics Design Optimization of the PMSMs View project. Bargallo Perpina on*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/228829673>
- R, J. (1979). Shoreline recreation planning: A systems view. In G. Wall (Ed.), *Recreational Land Use in Southern Ontario* (pp. 303-20.). University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- Reif, T. H., & Guenther, D. A. (1978). A Comparative Study of the Aerodynamics and Hydrodynamics of a Tunnel Boat Hull. *Journal of Hydronautics*, 12(4), 166-168. <https://doi.org/10.2514/3.63128>
- Rodríguez Cea, Á. I. (2017). *Modelo para la batería de ión de litio de un vehículo eléctrico*. Retrieved from <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/24673/TFM-I-648.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Royal Australian Institute of Parks and Recreation., D. E. J., & Geering, D. (1985). *Australian parks & recreation : quarterly journal of the Royal Australian Institute of Parks and Recreation. Australian Parks & Recreation* (Vol. 21). The Institute. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19851827968>
- Samson, S. A. B. y F. B. (1985). Efectos de la recreación no consuntiva en la vida silvestre: una revisión. *Boletín de La Sociedad de Vida Silvestre (1973-2006)*. WileyWildlife Society. <https://doi.org/10.2307/3781422>
- Sandra. Beltone. (2019). Hercios y decibelios - Inicio Blog Beltone. Retrieved March 13, 2019, from <http://blog.beltone.es/hercios-y-decibelios/>
- Santamarta, J. (2009). *El futuro del automóvil es eléctrico*. Retrieved from <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/63/39/a39.pdf>
- Selba. (2019). *Ficha técnica SL1014*.
- Sociedad de Técnicos de Automoción. (2011). *El vehículo eléctrico : desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. Libbooks.
- Speight, M. C. (1973). *Outdoor recreation and its ecological effects: A bibliography and review*.

University College.

- Surber, E. W. (1971). The Effect of Outboard Motor Exhaust Wastes on Fish and Their Environment. *Journal of the Washington Academy of Sciences*. Washington Academy of Sciences. <https://doi.org/10.2307/24535476>
- Tarkpea, M., & Svanberg, O. (1982). The acute toxicity of motor fuels to brackish water organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 13(4), 125–127. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(82\)90369-1](https://doi.org/10.1016/0025-326X(82)90369-1)
- Torrejón Pérez, C. (2010). *Diseño de un pack de baterías para motocicletas eléctricas*. Retrieved from https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/9685/PFC_CristinaTorrejonPerez.pdf?sequence=1
- Tortosa, F., Prósper, P., & Tortosa, P. (2009). *La Albufera : guía para descubrir el Parque Natural: [itinerarios culturales y ambientales]*. Valencia: Universitat de Valencia.
- Universidad La Salle Bolivia., M. R. (2014). *Fides et ratio : revista de difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia. Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* (Vol. 7). Universidad La Salle.
- Valenciana, G. (2008). Generalitat valenciana, 91–92.
- VERMAAT, J. E., & BRUYNE, R. J. (1993). Factors limiting the distribution of submerged waterplants in the lowland River Vecht (The Netherlands). *Freshwater Biology*, 30(1), 147–157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1993.tb00795.x>
- W., F. (1985). Effects of power boating upon a water storage. *Report on the 11th Seminar for Swimming Pool, Water Supply and Sewerage System Operators*, (Department of Local Government, Brisbane), 1-4.
- Wall, G., & Wright, C. (1977). The environmental impact of outdoor recreation. *The Environmental Impact of Outdoor Recreation.*, (No.11).
- Wallbox. (2019). *Ficha técnica de Wallbox Commander Business 22 kW*.
- Ward, D and Andrews, J. (1993). Waterfowl and recreational disturbance on inland waters. *British Wildlife*, 4, 4, 221--229.
- Whitfield, A. K., & Becker, A. (2014). Impacts of recreational motorboats on fishes: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 83(1), 24–31. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2014.03.055>
- Williamson, J and Kite, J and Henderson, P and Bishaw, B. (1989). Waroona Reservoir and Catchment Area Management Plan 1990-2000. *Department of Conservation and Land Management/Water Authority of Western Australia, Perth*.
- Yousef, Y. A., McLellon, W. M., & Zebuth, H. H. (1980). Changes in phosphorus concentrations due to mixing by motorboats in shallow lakes. *Water Research*, 14(7), 841–852. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90265-1](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90265-1)