

# Estudio y análisis de la tecnología “Cold Ironing” en el puerto de Palma de Mallorca

Trabajo Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona  
Universidad Politécnica de Cataluña

Trabajo realizado por:  
**Ayob Mrabet El Khamlichi**

Dirigido por:  
**Santiago Ordás Jiménez**

Grado en Náutica y transporte marítimo

Barcelona, 7 de junio de 2022

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



## Agradecimientos

A Santiago Ordás Jiménez, por la dirección de este trabajo, quien, en todo momento, me ha prestado su tiempo y sus conocimientos, los cuales han sido fundamentales para la realización de este proyecto.

A la autoridad portuaria de Baleares por brindarme la oportunidad de visitar las instalaciones y la posibilidad de resolver dudas relacionadas con el presente Proyecto, además de facilitarme informes y planos del muelle Paraires en el Puerto de Palma.

Al departamento de máquinas de los buques “Sicilia” y “Poeta López Anglada” por apoyarme durante la elaboración del proyecto y ofrecerme información necesaria para su redacción.

## Resumen

El transporte marítimo supone un gran impacto ambiental debido a sus emisiones, estas emisiones de efecto invernadero contribuyen al cambio climático y al calentamiento global.

Debido a los diferentes estudios en marcha que arrojan datos abrumadores sobre las emisiones de los buques que afectan a los núcleos urbanos cercanos a los puertos la unión europea ha decidido tomar medidas para reducir las emisiones de estos buques.

Desde la unión europea se están incentivando y subvencionando a los estados y navieras para que implementen medidas y energías menos contaminantes, uno de estos sistemas es el famoso “Cold Ironing”.

El puerto de Palma de Mallorca es conocido por las escalas de diferentes cruceros, así como el puerto que comunica Mallorca con la península ibérica. La estancia en puerto de estos buques es muy contaminante ya que en puerto utilizan motores auxiliares y esto genera contaminación acústica y ambiental. Los motores auxiliares se mantienen encendidos para proporcionar electricidad al barco, estos motores consumen combustible además de ser ruidosos. En el puerto recalán mayoritariamente cruceros, Ro-Ro y ocasionalmente graneleros, cargueros y cisternas, además, el puerto limita con la ciudad, por lo que la contaminación es más visible y afecta a los vecinos de la zona.

El método de Cold Ironing o OPS (Onshore Power Supply) utiliza electricidad en tierra para suministrarla al buque, pudiendo apagar los motores auxiliares y así reducir las emisiones. En muchos puertos europeos esta tecnología se está empezando a implementar más, gracias a proyectos comunes de la unión europea.

**Palabras clave:** Cold Ironing, electricidad, puerto, buque, emisiones, alternativas, Kilovatio (Kw), MARPOL

## Abstract

Maritime transport has a great environmental impact due to its emissions; these greenhouse gas emissions contribute to climate change and global warming.

Due to the different studies under way that show overwhelming data on emissions from ships that affect urban centers near ports, the European Union has decided to take measures to reduce emissions from these ships.

From the European Union, states and shipping companies are being encouraged and subsidized to implement fewer polluting measures and clean energy, one of these systems is the famous "Cold Ironing".

The port of Palma de Mallorca is known for the stopovers of different cruise ships as well as being the port that connects Mallorca with the rest of Spain. The stay in port of these ships is very polluting since in port they use auxiliary engines and this generates the acoustic and environmental pollution. The auxiliary engines are kept on to provide electricity to the ship, these engines use fuel in addition to being noisy. In this port mostly calls cruise ships, Ro-Ro ships and casually cement carrier and tanker ships. The port is close to the city; therefore, the contamination is more visible and affects the residents of the area.

The Cold Ironing or OPS (Onshore Power Supply) method uses electricity on land to supply it to the ship, being able to turn off the auxiliary engines and thus reduce emissions. In many European ports this technology is beginning to be implemented more, thanks to common projects of the European Union.

**Keywords:** Cold Ironing, electricity, port, ship, emissions, alternative, Kilowatt (Kw), MARPOL

# Índice

Agradecimientos .....	1
Resumen .....	2
Abstract .....	3
Índice .....	4
Índice de figuras.....	7
Índice de tablas.....	9
Acrónimos, siglas y abreviaturas .....	11
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>3</b>
<b>3 NORMATIVA Y ESTÁNDARES .....</b>	<b>8</b>
3.1 Normativa para la contaminación en puerto .....	8
3.2 Normativa para el sistema OPS.....	11
<b>4 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL .....</b>	<b>12</b>
4.1 SmartSensPORT-PALMA .....	12
4.2 Emisiones en el puerto de Palma .....	15
4.3 Reducción de ruidos y emisiones .....	19
<b>5 ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES.....</b>	<b>20</b>
5.1 Uso de GNL y Scrubbers.....	20
<b>6 EL COLD IRONING COMO ALTERNATIVA .....</b>	<b>25</b>
6.1 Requerimientos en la infraestructura portuaria y del buque .....	25
6.2 Demanda eléctrica de los buques .....	26

6.2.1	Tensión.....	26
6.2.2	Frecuencia.....	27
6.2.3	Conexión .....	28
<b>6.3</b>	<b>OPS Master Plan for Spanish Ports .....</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>COLD IRONING EN EL PUERTO DE PALMA .....</b>	<b>30</b>
<b>7.1</b>	<b>Configuración del puerto.....</b>	<b>32</b>
<b>7.2</b>	<b>Demanda eléctrica de los buques.....</b>	<b>34</b>
7.2.1	Reforma eléctrica de cada buque.....	35
<b>7.3</b>	<b>Generación y distribución eléctrica en la isla de mallorca .....</b>	<b>36</b>
<b>7.4</b>	<b>Muelle de Paraires .....</b>	<b>38</b>
7.4.1	Características del muelle.....	38
7.4.2	Descripción instalaciones.....	39
7.4.3	Sistema de seguridad y control.....	40
<b>7.5</b>	<b>Rentabilidad muelle Paraires .....</b>	<b>41</b>
<b>7.6</b>	<b>Estudio de ampliación al resto de dársenas.....</b>	<b>42</b>
7.6.1	Muelles Dique del Oeste.....	43
7.6.2	Muelles Poniente .....	44
7.6.3	Muelles Comerciales.....	45
7.6.4	Análisis de rentabilidad para cada muelle .....	46
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>53</b>
A1.1.	Coste económico del TFG .....	53
A1.2.	Listado de instalaciones de suministro eléctrico a buques. ....	55
A1.3.	Características de las dársenas puerto de Palma .....	56
A1.4.	Características motores auxiliares ferry habitual al puerto de Palma .....	57
A1.5.	Panel de conexión a tierra en un ferry.....	58
A1.6.	Plano muelle Paraires. canalización y distribución eléctrica .....	59
A1.7.	Conexión al fast ferry Eleanor Roosevelt .....	60
A1.8.	Punto de conexión media tensión (MT).....	61

<b>A1.9.</b>	<b>Punto de conexión en baja tensión (BT)</b> .....	<b>62</b>
<b>A1.10.</b>	<b>Especificaciones de un motor auxiliar RO-PAX</b> .....	<b>63</b>
<b>A1.11.</b>	<b>Distribución de los motores auxiliares y generadores</b> .....	<b>64</b>
<b>A1.12.</b>	<b>Consumo en puerto motor auxiliar 1</b> .....	<b>65</b>
<b>A1.13.</b>	<b>Consumo en puerto motor auxiliar 2</b> .....	<b>65</b>
<b>A1.14.</b>	<b>Consumo en puerto motor auxiliar 3</b> .....	<b>65</b>
<b>A1.15.</b>	<b>Informe de control diario</b> .....	<b>66</b>
<b>A1.16.</b>	<b>Cálculos de rentabilidad muelle Paraires</b> .....	<b>67</b>
A1.16.1.	Estimación de bonificación uso Cold Ironing .....	67
A1.16.2.	Ocupación media en el muelle .....	68
A1.16.3.	Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing .....	69
A1.16.4.	Simulación de resultados .....	70
<b>A1.17.</b>	<b>Cálculos de rentabilidad muelles Dique del Oeste</b> .....	<b>71</b>
A1.17.1.	Ocupación media en el muelle .....	71
A1.17.2.	Estimación de bonificación uso Cold Ironing .....	72
A1.17.3.	Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing .....	73
A1.17.4.	Simulación de resultados .....	74
<b>A1.18.</b>	<b>Cálculos de rentabilidad muelles de Poniente</b> .....	<b>75</b>
A1.18.1.	Ocupación media en el muelle .....	75
A1.18.2.	Estimación de bonificación uso Cold Ironing .....	76
A1.18.3.	Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing .....	77
A1.18.4.	Simulación de resultados .....	78
<b>A1.19.</b>	<b>Cálculos de rentabilidad muelles comerciales</b> .....	<b>79</b>
A1.19.1.	Ocupación media en el muelle .....	79
A1.19.2.	Estimación de bonificación uso Cold Ironing .....	80
A1.19.3.	Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing .....	81
A1.19.4.	Simulación de resultados .....	82



## Índice de figuras

Figura 1 Configuración de un sistema Cold Ironing (Fuente: Comisión Europea, análisis Monitor Deloitte) .....	3
Figura 2 Conexión eléctrica desde tierra puerto de Gotemburgo en 1989. Fuente: Chalmers.....	4
Figura 3 Países con el sistema Cold Ironing implementado. Fuente: Power Technology Research ..	4
Figura 4 Zonas activas y posibles zonas ECA Fuente: Ingmaritima .....	10
Figura 5 Principales variables utilizadas en los informes de calidad del aire del Govern de les Illes Balears. Fuente: Caib.....	13
Figura 6 Sensores de medición de partículas y ruidos. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares .....	14
Figura 7 Localización de la red de sensores. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares .....	14
Figura 8 Zonas de atraque y zonas de influencia de cada una de ellas. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares .....	15
Figura 9 Umbrales para los distintos parámetros. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares .....	16
Figura 10 Índices contaminantes puerto de Palma. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares.....	17
Figura 11 Valores de emisión M.M.P.P Fuente: Propia.....	18
Figura 12 Comparativa de emisiones entre GNL y combustibles fósiles Fuente: Elenger .....	20
Figura 13 Esquema de suministro de GNL a un buque desde puerto Fuente: Puertos del Estado .	21
Figura 14 Suministro de GNL a través de un camión en el puerto de Valencia. Fuente: Propia .....	21
Figura 15 Tanques de GNL en el buque Hypatia de Alejandría de la compañía balearia. Fuente: Balearia.....	22
Figura 16 Evolución de los combustibles marinos 2020-2022 promedio. Fuente Anave .....	23
Figura 17 Ejemplo de instalación a bordo Fuente: Poweratberth .....	26
Figura 18 Frecuencias eléctricas utilizadas en los buques en el mundo. Fuente World-power-plugs .....	27
Figura 19 Grúa de elevación base móvil. Fuente: poweratberth.....	28
Figura 20 Logo del proyecto OPS Master Plan. Fuente: poweratberth .....	29
Figura 21 Mapa puerto de Palma Fuente: Autoridad Portuaria Baleares.....	32
Figura 22: Emisiones de CO2 eq. según tipo de generación sistema eléctrico balear Fuente: Red Eléctrica de España.....	36

Figura 23: Demanda de energía en un día isla de Mallorca Fuente: Red Eléctrica de España..... 37

Figura 24 Ubicación de los puntos de conexión y línea eléctrica Fuente: Google Earth ..... 44

Figura 25 Ubicación de los puntos de conexión y línea eléctrica Fuente: Google Earth ..... 45

Figura 26 Ubicación de los puntos de conexión y línea eléctrica Fuente: Google Earth ..... 46

## Índice de tablas

Tabla 1 Introducción del sistema Cold Ironing por puerto y país. Fuente: Sciencedirect.....	6
Tabla 2 Terminales con disponibilidad de suministro en puertos españoles. Fuente: Poweratberth7	
Tabla 3 Niveles según normativa vigente de la calidad acústica según tipología del área referidos a una altura de 4 m sobre el terreno. Fuente: Caib .....	9
Tabla 4 Límites de NOx según las revoluciones del motor. Fuente: MARPOL anexo VI .....	10
Tabla 5 Resumen de variables que recoge la red de sensores fuente: Autoridad Portuaria Baleares .....	12
Tabla 6 Cuadro de emisiones en el puerto de Palma según tipo de buque y año Fuente: Poweratberth .....	16
Tabla 7 Nivel de ruido según tipo de buque. Fuente: Euronoise2018 .....	17
Tabla 8 Emisiones según régimen de funcionamiento de un auxiliar Fuente: Caterpillar.....	18
Tabla 9 Emisiones según fuente y diferencias. Fuente: Puertos del Estado .....	19
Tabla 10. Potencia y voltaje estimado para cada tipo de buque. Fuente: Ericsson & Fazlagic [13]	26
Tabla 11 Numero de cruceros en el puerto de Palma por año. Fuente: Puertos del Estado.....	30
Tabla 12 Duración de la estancia en puerto de los buques habituales. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares .....	31
Tabla 13 Posibles puntos de suministro eléctrico en cada muelle Fuente: Propia.....	33
Tabla 14 Características eléctricas de cada buque Fuente: Propia.....	34
Tabla 15 Costes de inversión en dos tipos de buques para su adaptación al sistema OPS. Fuente: Poweratberth [15].....	35
Tabla 16: Centrales ciclo combinado isla de mallorca. Fuente: Red Eléctrica de España .....	36
Tabla 17 Potencia prevista muelle Paraires. Funte: Isdefe [15].....	38
Tabla 18 Presupuesto del proyecto Cold Ironing muelle Paraires. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares [15] .....	41
Tabla 19 Comparación del coste anual de los sistemas energéticos en puerto. Fuente: Propia.....	42
Tabla 20 Atraques y horas realizadas según muelle y buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares .....	43
Tabla 21 Atraques y horas realizadas según muelle y buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares .....	44

Tabla 22 Horas de atraque según muelle y buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares.....	45
Tabla 23 Coste de las diferentes tecnologías Fuente: Propia .....	47
Tabla 24 Reducción de emisiones según muelles. Fuente: Propia.....	47

## Acrónimos, siglas y abreviaturas

**AT:** Alta Tensión

**BT:** Baja Tensión

**EEDI:** Energy Efficiency Design Index

**GNL:** Gas Natural Licuado

**HFO:** Heavy Fueloil

**MARPOL:** Marine Pollution

**MDO:** Marine Diesel Oil

**MGO:** Marine Gasoil

**MT:** Media Tensión

**MWh:** Megavatio hora

**OPS:** Onshore Power Supply

**NOx:** Óxidos nitrosos

**SEEMP:** Ship Energy Efficiency Management Plan

**SECA:** Zonas de control de Emisiones de SOx



# 1 Introducción

Desde el descubrimiento de los combustibles fósiles y la invención de la máquina de vapor, el planeta se ha visto envuelto en un incremento de las emisiones. Gracias a estos inventos las personas hemos ahorrado tiempo a la hora de fabricar o viajar entre otras muchas cosas, sin embargo, hemos dejado de lado el ecosistema de nuestro planeta.

Desde finales del siglo XX y con la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), la mayoría de países se han concienciado en reducir las emisiones contaminantes y que propician el cambio climático.

En 2005 entró en vigor una serie de medidas adoptadas en el marco de la UNFCCC en Kyoto, los países partícipes de este tratado se comprometían a reducir las emisiones en un 5% respecto de los niveles de 1990.

Con la entrada en vigor del anexo VI del MARPOL el transporte marítimo ha procurado reducir emisiones utilizando energías menos contaminantes o implementando sistemas y tecnologías más limpias.

La energía eléctrica es de vital importancia para un buque atracado en puerto ya que, el funcionamiento del buque depende de la electricidad. Este hecho y la reducción de emisión hacen que se busque una alternativa para generar la electricidad que demanda un buque.

La necesidad de un cambio en la situación ambiental portuaria ha hecho que se tomen decisiones, una de ellas ha sido la implementación de la tecnología Cold Ironing en uno de los muelles del puerto de Palma, el más cercano a la zona urbana.

La contaminación ambiental y acústica son problemas muy comunes en las poblaciones cercanas a puertos con gran actividad. Durante la última década diferentes organismos entre ellos la unión europea se han concienciado en reducir esta contaminación en el ámbito marítimo-portuario.

De igual manera, la utilización de combustibles menos contaminantes como el GNL o la implementación de scrubbers es un paso hacia la sostenibilidad marítima.

Los Anexos del presente trabajo son de gran ayuda para la correcta comprensión del estudio realizado, parte de los Anexos son una recopilación de información teórica, técnica y práctica presenciado en primera persona.

Las dos fuentes principales de información fueron la autoridad portuaria de baleares (APB) y el embarque realizado en el "Sicilia" de la compañía Balearia. Se contacto con la fundación Valenciaport y con el puerto de Barcelona sin éxito.

Desde la APB se facilitaron informes y planos para poder tener un amplio conocimiento sobre el proyecto de suministro eléctrico a buques en el muelle Paraires así como una respuesta a diversas preguntas que han facilitado la elaboración del presente trabajo. Se pudo fotografiar los cuadros de conexión a buques en el mismo muelle y ver en primera persona las instalaciones.

En el embarque realizado desde enero hasta mediados de abril del 2022 en el buque “Sicilia” se obtuvieron datos de los motores auxiliares y sus emisiones, este buque realizaba escala en el puerto de Palma y los datos obtenidos corroboran los consumos y emisiones del trabajo. Este buque pertenece a la serie Visentini construidos en astilleros italianos y es muy similar a los buques de las navieras que enlazan la península con las baleares mediante ferries y recalán en el puerto.

Las emisiones del buque se podían obtener desde un panel de control cerca de las chimeneas las cuales tenían dos sensores que captaban las emisiones y las clasificaban. Con la ayuda del departamento de máquinas se obtuvieron los datos de consumo.

Actualmente en el puerto de Palma existen dos puntos de conexión en funcionamiento, uno para un buque tipo fast ferry y otro para un buque tipo ferry convencional, estas infraestructuras se encuentran en el muelle Paraires, aunque la autoridad portuaria de baleares (APB) está estudiando la posibilidad de la ampliación al resto del puerto.

Se realizará un estudio para analizar la viabilidad de ampliar el sistema de conexión a tierra o Cold Ironing para el resto de muelles del puerto teniendo en cuenta una serie de factores como:

- Tipo de buque
- Horas de atraque
- Escalas que realiza durante el año
- Impacto en el medio ambiente
- Precio del kWh
- Coste de generación kWh a través de motores auxiliares

Los buques analizados corresponden a un determinado momento del año en el puerto de Palma, no obstante, debido a cambios en la flota de las navieras los buques se van alternando con otros.



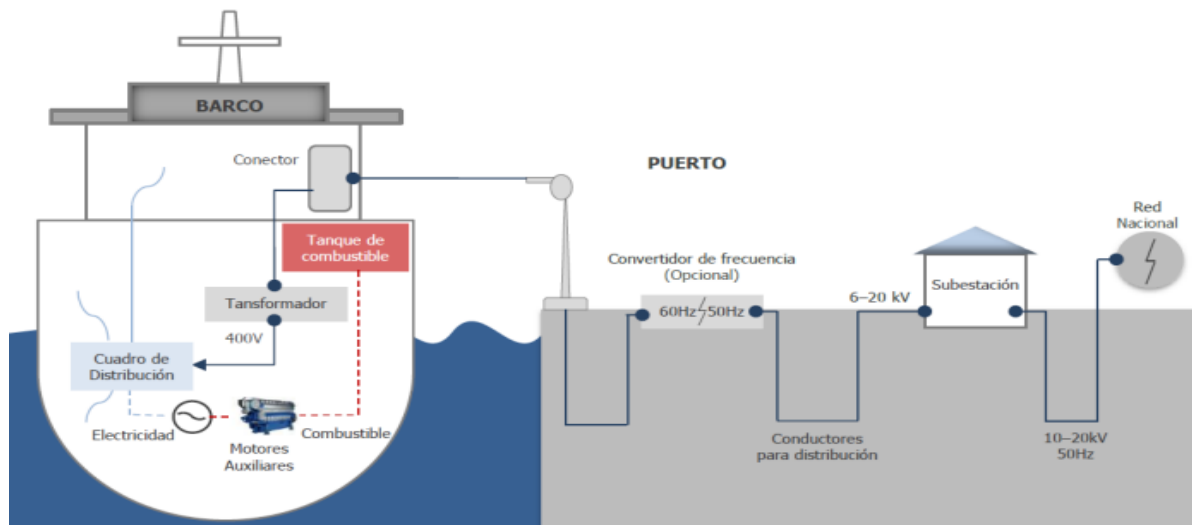
## 2 Estado del arte

Antiguamente los buques que se propulsaban con carbón como combustible, al llegar a puerto paraban por completo los motores ya que este carecía de demanda eléctrica, al apagar los motores de hierro (iron) se enfriaban por completo (cold).

En la actualidad los motores auxiliares de los buques son los que abastecen de energía eléctrica a éste mientras está atracado en puerto, estos motores consumen generalmente fueloil pesado (HFO) o gasoil marino (MGO) que contienen mucho más azufre que los combustibles que utilizamos habitualmente en los vehículos, por lo tanto la quema de estos combustibles genera un gran impacto ambiental en las zonas próximas a su atraque, de igual manera estos motores generan un ruido que a veces puede llegar a incomodar a los residentes próximos a las zonas portuarias.

La instalación de Cold Ironing normalmente necesita una pequeña construcción ya sea móvil o fija que albergue todo el sistema y la equipación eléctrica para así adaptarse a las características del buque.

La mayoría de buques aplican el estándar norteamericano y operan con una frecuencia de 60Hz mientras que en España los buques suministran a 50Hz, por ello ha de haber un convertidor de frecuencia para adaptarse a la necesidad de cada buque.



**Figura 1 Configuración de un sistema Cold Ironing (Fuente: Comisión Europea, análisis Monitor Deloitte)**

El puerto pionero en el uso de la tecnología “Cold Ironing” fue el de Gotemburgo donde en 1989 se instaló un punto de suministro eléctrico para buques, esta instalación era de bajo voltaje y suministraba 400v a 50hz. Una década más tarde en el mismo puerto se instaló un punto de alto voltaje la cual era el primero a nivel mundial, esta instalación suministraba entre 6.6 y 10 Kv a 50Hz con una potencia de 1000kW. La conexión consistía en un solo cable que procedía del buque para póstumamente conectarlo manualmente al punto de conexión eléctrico del muelle. Actualmente el puerto de Gotemburgo dispone de 5 muelles equipados en baja tensión (BT) y media tensión (MT), los buques que suelen utilizar este sistema son buques tipo ferry y RO-RO. [[4]]



Figura 2 Conexión eléctrica desde tierra puerto de Gotemburgo en 1989. Fuente: Chalmers

La unión europea está incentivando la instalación de este sistema en los puertos de los países miembros para reducir las emisiones contaminantes. A demás países como Noruega o Suecia son pioneros en la utilización del sistema Cold Ironing, promueven la utilización del sistema a través de cero impuestos y tarifas especiales para los buques preparados para el suministro.

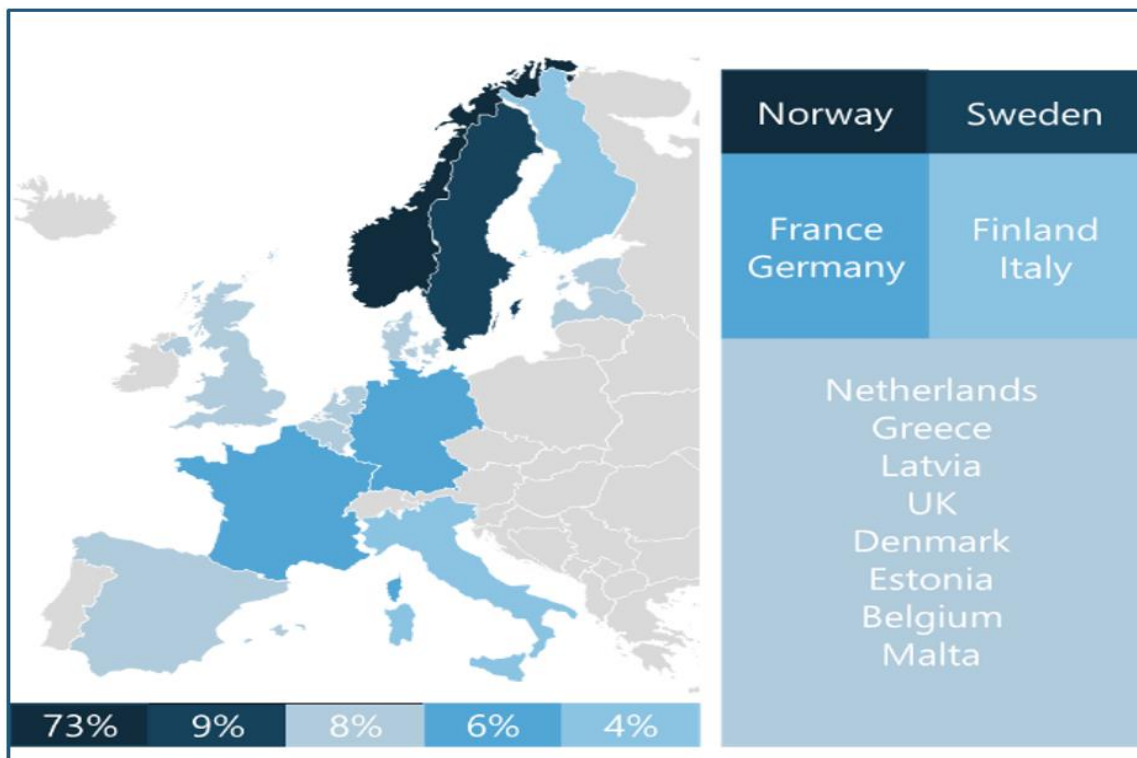


Figura 3 Países con el sistema Cold Ironing implementado. Fuente: Power Technology Research

Países como Francia, Alemania, Finlandia e Italia están incrementando las infraestructuras para abastecer a los buques de electricidad durante su estancia en puerto. Por ello el 80% de las instalaciones Cold Ironing están en puertos europeos. En 2030 se ofrecerán más de 24.000 puntos de conexión en puertos europeos. [[2]]

Los actores principales a nivel europeo:

- **Noruega:** Alrededor de 50 puntos de conexión disponibles en los puertos noruegos, la mayoría se sitúan en Bergen, Karmsund, Kristiansand y Oslo. El gobierno noruego está comprometido con la electrificación de los puertos, invirtiendo en más de 100 proyectos junto con la empresa estatal Enova SF. La mayoría de puntos de conexión son en baja tensión (BT)
- **Alemania:** El gobierno alemán esta concienciada con la descarbonización de los puertos. En primer lugar, se instalaron puntos de conexión para embarcaciones pequeñas hasta que el puerto de Hamburgo instaló el primer sistema del país en media tensión (MT) seguido de los puertos de Kiel, Lubeck y Cuxhaven. El gobierno alemán a concedido cerca de 70 millones de euros para la instalación del sistema en diferentes puertos del país para que estén en funcionamiento en 2025.
- **Países Bajos:** Actualmente los puertos de Róterdam y Ámsterdam disponen de puntos de conexión eléctrica para el suministro a buques, de hecho, la terminal Calandkanaal del puerto de Róterdam suministra electricidad generada a través de energía eólica, el gobierno reduce las tasas portuarias a los buques que utilicen el suministro eléctrico desde tierra.
- **Suecia:** En el año 2000 este país instalo el primer sistema de conexión a tierra a nivel europeo adaptado a grandes buques, los puertos de Gotemburgo y Estocolmo tienen como objetivo proporcionar una infraestructura para el suministro eléctrico necesario para los buques atracados. El gobierno subvenciona proyectos para el despliegue del Cold Ironing para todos los puertos suecos.
- **Italia:** Fue el primer país en instalar este sistema en la región del mediterráneo, fue en el puerto de Civitavecchia en 2008 aunque no se introdujo hasta el 2015 y fue pensado para reducir las emisiones de los cruceros ya que este puerto alberga durante todo el año grandes cruceros que ocasionan ruidos y emisiones. En la actualidad Italia dispone de esta tecnología en seis de sus puertos.
- **Francia:** El suministro eléctrico a buques está disponible en los puertos de: Le Havre, Marsella y Toulon. El gobierno está concienciado en la electrificación de las terminales de los puertos más importantes del país.
- **Reino Unido:** Hasta el año 2020, no hubo posibilidad de suministro eléctrico a buques comerciales, esto es debido al poco interés del gobierno en implementar el sistema en los puertos del país y la poca rentabilidad a causa de las tarifas eléctricas. En la actualidad la terminal de cruceros Mayflower en el puerto de Southampton dispone de conexión eléctrica para buques, durante el año 2022 se instalarán más puntos en el puerto.

Los puertos principalmente suministran a buques RO-RO, RO-PAX y Cruceros, ya que son los buques con mayor consumo eléctrico durante su estancia en puerto. Los buques que recalán en puertos americanos suministran a 60Hz mientras que en los europeos lo hacen a 50Hz exceptuando Amberes, Oslo y Hamburgo en los cuales se puede optar por una de las dos frecuencias. Las tensiones en un sistema OPS pueden ser de alta o media y varían entre 6,6 y 11kV, aunque hay puertos que suministran en baja tensión.

Hasta el año 2017 a nivel mundial solo había 28 puertos que disponían de una conexión eléctrica desde tierra para abastecer a buques, estos puertos se encuentran en su gran mayoría en Europa debido al compromiso para reducir las emisiones de efecto invernadero.

Año introducido	Puerto	País
2000	Gotemburgo	Suecia
2000	Zeebrugge	Bélgica
2001	Juneau	EE.UU.
2004	Los Ángeles	EE.UU.
2005	Seattle	EE.UU.
2006	Kemi	Finlandia
2006	Kotka	Finlandia
2006	Oulu	Finlandia
2006	Estocolmo	Suecia
2008	Amberes	Bélgica
2008	Lubeca	Alemania
2009	Vancouver	Canadá
2010	San Diego	EE.UU.
2010	San Francisco	EE.UU.
2010	Kariskrona	Suecia
2010	Ámsterdam	Países Bajos
2011	Long Beach	EE.UU.
2011	Oslo	Noruega
2011	Prince Rupert	Canadá
2012	Róterdam	Países Bajos
2012	Oakland	EE.UU.
2012	Ystad	Suecia
2012	Helsinki	Finlandia
2013	Trelleborg	Suecia
2014	Riga	Letonia
2015	Bergen	Noruega
2015	Hamburgo	Alemania
2015	Civitavecchia	Italia

Tabla 1 Introducción del sistema Cold Ironing por puerto y país. Fuente: Sciencedirect

En España el Cold Ironing se empezó fraguar en el 2016 cuando ya existían varios proyectos en fase de estudio, la implementación se hizo a través del OPS Master Plan for Spanish Ports en el año 2020 y actualmente hay 9 puertos con disponibilidad de suministro eléctrico.

Año introducido	Puerto	Terminal	Buques
2021	Almería	Muelle nº6	Ferries, RO-RO
2020	Motril	Pasajeros	Ferries, RO-RO
2021	Palma de Mallorca	Paraires	Ferries, RO-RO
2021	Las Palmas	Antiguo muelle de la pesca	Ferries, RO-RO
2021	Sta.Cruz de La Palma	Adosado dique	Ferries, RO-RO
2020	SS Gomera	Adosado dique	Ferries, RO-RO
2021	Sta.Cruz de Tenerife	Pasajeros	Ferries, RO-RO
2021	Sta.Cruz de Tenerife	Pantalán	Ferries, RO-RO
2020	Melilla	Pasajeros	Ferries, RO-RO

**Tabla 2 Terminales con disponibilidad de suministro en puertos españoles. Fuente: Poweratberth**

El gobierno de España se ha marcado el objetivo de electrificar la mayoría de puertos del país antes del 2030, este año también es importante para la Autoridad Portuaria de Valencia ya que tiene el objetivo de convertirse en el primer puerto europeo con un puerto “cero emisiones”. El puerto de Barcelona ha sacado adelante un plan de actuaciones para electrificar todos sus muelles en un plazo de siete años, con una inversión de más de 60 millones de euros

## 3 Normativa y estándares

### 3.1 Normativa para la contaminación en puerto

En relación a la normativa aplicable a la contaminación portuaria en la Unión Europea se aprueba la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia. Esta directiva regula tanto los niveles como la metodología de medición de la calidad del aire, además, introduce regulaciones para nuevos contaminantes, y nuevos requisitos en cuanto a la evaluación y la gestión de la calidad del aire ambiente.

En cuanto a la normativa española encontramos la Ley 34/2007 la cual pretende alcanzar un alto nivel de protección para las personas y el medio ambiente frente a la contaminación atmosférica. Esta ley se desarrolla mediante tres Real Decreto:

-Real Decreto 100/2011, de 28 de enero 2011, catálogo de actividades potencialmente contaminadoras para la atmosfera. Se citan los puertos.

-Real Decreto 101/2011, de 28 de enero 2011, normas básicas para los sistemas de medición de los gases de efecto invernadero. Específicamente para actividades de aviación.

-Real Decreto 102/2011, de 28 de enero 2011, Mejora de la calidad del aire, establece objetivos de calidad respecto a las concentraciones de las sustancias siguientes: Dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxido de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel, benzopireno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, mercurio, y amoníaco.

La normativa española referente a la contaminación acústica se deriva de la europea mediante la Directiva 2002/49/CE, ésta hace referencia a la evaluación y valores máximos teniendo en cuenta el impacto sobre la salud de las personas y la mejora de la convivencia entre las actividades generadoras de ruido. La ley 37/2003 de 17 de noviembre de 2003 articula la contaminación acústica en referencia a la normativa española.

Tanto a nivel autonómico como a nivel local existen legislaciones y ordenamientos como son:

-Ley 1/2007 de 16 de marzo, contra la contaminación en las islas

-BOIB núm.4 de 09 de enero 2014 donde se recogen los objetivos máximos de contaminación para el puerto de Palma.

Los niveles sonoros deseables vienen fijados por el Real Decreto 1038/2012.

Según la normativa vigente podemos recoger los niveles según uso y área.

- Ld: nivel sonoro medio a lo largo de los periodos día 07 a 19h de un año.
- Le: nivel sonoro medio a lo largo de los periodos tarde 19 a 23h de un año.
- Ln: nivel sonoro medio a lo largo de los periodos noche 23 a 07h de un año.

Todos ellos recogidos en la norma ISO 1996-2:1987 y resumidos en la siguiente tabla.

Tipo de área	Índices de ruido (dBA)		
	Ld	Le	Ln
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al uso recreativo y de espectáculos	70	70	65
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen	En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas colindantes con ellos.		

**Tabla 3 Niveles según normativa vigente de la calidad acústica según tipología del área referidos a una altura de 4 m sobre el terreno. Fuente: Caib**

La IMO establece en la Resolución A.468 (XII) Código del nivel de ruido a bordo de los buques el límite de 75dB(A) para las zonas de descanso y recomienda 65 dB (A).

Internacionalmente las regulaciones más importantes sobre emisiones vienen dadas por el convenio internacional MARPOL, desarrollado por la IMO, el objetivo de este convenio es el de la prevención contra la contaminación marina provocado por los buques.

En el 2005 entró en vigor el anexo VI del MARPOL que dispone las reglas para prevenir la contaminación atmosférica provocada por buques, en el 2011 se revisó el anexo VI del convenio MARPOL además se adoptaron unas series de medidas obligatorias para reducir los niveles de CO2 en el transporte marítimo (EEDI/SEEMP).

En el anexo VI del MARPOL se regulan las emisiones de NOx de los motores diésel marinos con potencia igual o superior a 130KW, los botes salvavidas y equipos de emergencia no deberán seguir estas regulaciones.



Según las revoluciones del motor encontramos unos límites de NOx reflejados en la siguiente tabla.

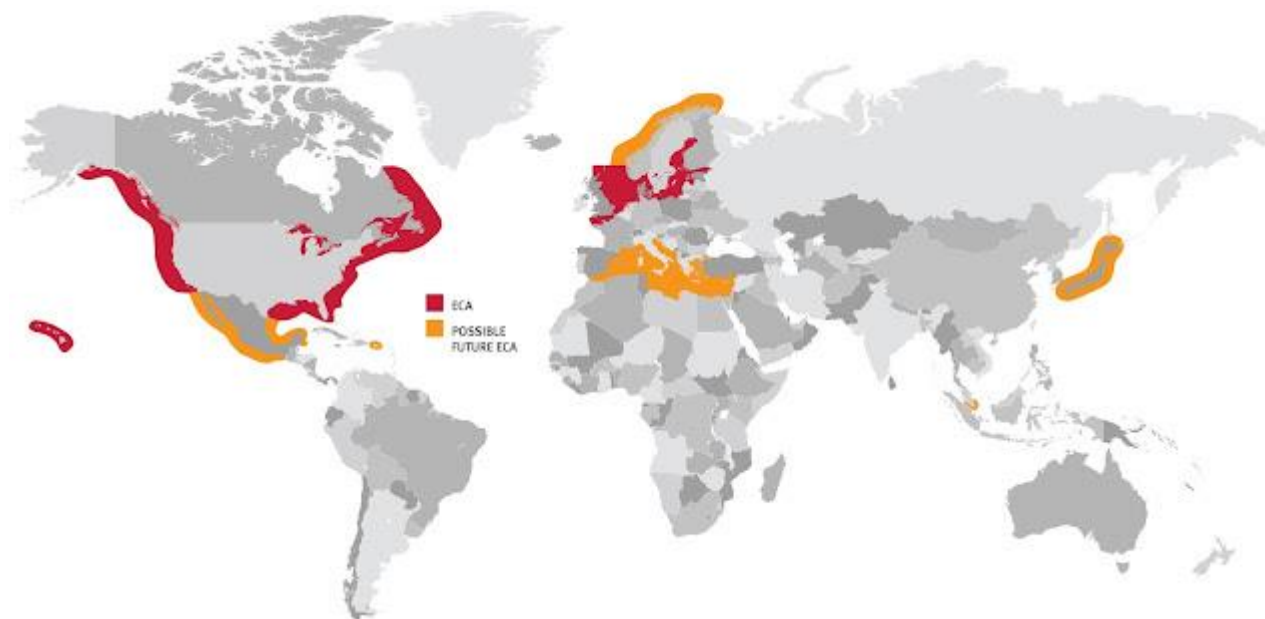
N < 130 rpm	17 g/kWh
130 rpm < n < 2.000 rpm	$45 \cdot n^{-0,2}$ g/kWh
N > 2.000 rpm	9,8 g/kWh

**Tabla 4 Límites de NOx según las revoluciones del motor. Fuente: MARPOL anexo VI**

En cuanto al SOx se regula el contenido de azufre del fueloil utilizado por buques que no exceda el 4.5 % en masa.

En octubre de 2010, la OMI aprobó un área de control de emisiones de gases (ECA) en el mar del norte y el Báltico. Esta decisión significa la reducción del 80% del nivel en aquel momento. Cabe destacar que esta regulación es aplicable a buques construidos a partir de 1 de enero del 2021 y que naveguen en el mar del norte, Báltico u otras zonas ECA.

Las ECA son zonas marítimas que, por motivos oceanográficos, ecológicos y de densidad del tráfico marítimo, requieren una gestión medioambiental para reducir la contaminación. Esta gestión puede ser el cambio de combustible a uno de menor densidad de azufre tanto para motores principales como para auxiliares cuando se navega por la zona ECA.



**Figura 4 Zonas activas y posibles zonas ECA Fuente: Ingmaritima**

Zonas ECA:

- Mar Báltico: definida en el anexo I del MARPOL (solamente SOx)
- Mar del Norte: definida en el anexo V del MARPOL (solamente SOx)
- Norteamérica: definida en el anexo VI del MARPOL (Sox, NOx y PM)
- Mar Caribe de los Estados Unidos: definida en el anexo VI del MARPOL (Sox, NOx y PM)



Cabe la posibilidad de una zona ECA en el mar mediterráneo y que según un estudio del gobierno francés (en la MEPC74) esto traería grandes beneficios socioeconómicos ya que los niveles de SOx se reducirían en un 77% y de NOx hasta un 76%.

Todos los buques de arqueo igual o superior a 400GT deberán expedir el certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica (IAPP) en el que se declaran las emisiones de sustancias nocivas.

## 3.2 Normativa para el sistema OPS

La normativa aplicable a la instalación del sistema OPS es la citada a continuación:

-Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-RAT 01 a 23.

-Real decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Las siguientes normativas detallan las características de los sistemas de conexión de buques en alta tensión (AT) media (MT) y baja tensión (BT) dependiendo de las necesidades de cada buque se suministrará en MT o en BT.

-IEC/ISO/IEEE 80005-1:2019/AMD 1:2022 Ed.1: Utility connections in port – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) System – General requirements

-IEC PAS 80005-3:2014 Utility connections in port — Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems — General requirements

## 4 Problemática ambiental

La problemática ambiental que afecta a las zonas residenciales colindantes con el puerto de Palma, es señalada por la opinión pública, ya que además de los buques de líneas regulares, en temporada alta la llegada de cruceros agrava la existente contaminación en el puerto y sus proximidades.

Según la agencia europea del medio ambiente la aviación y el transporte marítimo han sido las fuentes de emisiones que contribuyen al cambio climático que más rápido han crecido, siendo la del transporte marítimo un 3,15% a nivel mundial. Cabe destacar que más del 90% de la energía que se utiliza a nivel internacional proviene de derivados del petróleo.

Para suplir la demanda eléctrica de un buque durante su estancia en puerto, éste dispone de motores auxiliares que se asemejan a una planta de generación eléctrica a pequeña escala.

Las principales partículas son el NOx, CO2 y el SOx, gases de efecto invernadero. Estas partículas son causantes de problemas respiratorios además de la lluvia ácida y producir daños en el ecosistema.

### 4.1 SmartSensPORT-PALMA

Según los informes ambientales de la organización europea de puertos marítimos la principal prioridad es garantizar la calidad del aire, por ello desde 2016 la autoridad portuaria de Baleares (APB) trabaja para conocer el nivel de calidad del aire, esto y la llegada masiva de cruceros al puerto de Palma motivó a la universidad de las islas baleares y a la APB a realizar un estudio y observación de los niveles de contaminación y ruido procedentes de la actividad portuaria. Desde hace años hay una demanda social para la regulación de la llegada de cruceros ya que estos generan ruido y contaminación. [[8]]

Para conocer en todo momento la cantidad de emisiones y ruido se creó una red de sensores repartidos por el recinto portuario, conocida como SmartSensPORT-PALMA, esta red de sensores recoge una serie de variables con las que se interpretan el estado atmosférico del puerto.

VARIABLES CONTAMINANTES	VARIABLES METEOROLÓGICAS
SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , Ld, Le, Ln	Temperatura, Humedad, Presión, fuerza y dirección del viento

**Tabla 5 Resumen de variables que recoge la red de sensores fuente: Autoridad Portuaria Baleares**

La cantidad de niveles contaminantes se recogen para que póstumamente se interpreten y se tomen acciones para reducirlos. Esta red de sensores está integrada con los sistemas y estaciones atmosféricas de diversas entidades como AEMET, Ayuntamiento de Palma, etc... Todos estos datos se pueden visualizar en abierto utilizando metodologías Open Data.

Las estaciones tienen establecidos unos límites o umbrales máximos que al superarse se activa una alarma, la finalidad de ésta es crear informes y tomar medidas en cada momento.

Los principales objetivos de esta red de sensores son:

- Medir los niveles de contaminación y partículas.
- Medir los niveles de ruido.
- Medir las variables atmosféricas.

Aualmente los organismos de observación de la calidad del aire en las islas baleares publican un informe donde se recogen las principales variables contaminantes, para póstumamente compararlas con los valores de la red de sensores del puerto. [[8]]

Contaminante	Descripción	Origen	Efectos	Límites
<b>PM<sub>10</sub></b>	Partículas con diámetro menor a 10 µm	motores de combustión, centrales térmicas, solidos suspendidos, intrusiones saharianas	Problemas respiratorios, erosión de edificios	Valor medio diario: <b>50 µg/m<sup>3</sup></b> Valor medio anual: <b>40 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	Gas incoloro y no inflamable. Olor fuerte e irritante en elevadas concentraciones	Combustión de carbón, fuel-oil y gas-oil. Erupciones volcánicas	Lluvia ácida, enfermedades respiratorias, corrosión de materiales	Valor medio diario: <b>125 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>NO</b>	Gas tóxico e incoloro que reacciona con el ozono produciendo NO <sub>2</sub>	Motores de combustión, industria química y incendios forestales	Lluvia ácida, tóxicos para la salud y los seres vivos	Valores regulados por concentración NO <sub>2</sub>
<b>NO<sub>2</sub></b>	Gas tóxico de color marrón	Motores de combustión, industria química y incendios forestales	Lluvia ácida, tóxicos para la salud y los seres vivos	Valor medio horario: <b>200 µg/m<sup>3</sup></b> Valor medio anual: <b>40 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>CO</b>	Gas inodoro e incoloro. Tóxico en altas concentraciones y exposiciones cortas en el tiempo	Procesos de combustión deficitarios de oxígeno. Indicador de contaminación por motores de combustión	Tóxico en concentraciones elevadas	Valor máximo octohorario diario: <b>10 mg/m<sup>3</sup></b>
<b>O<sub>3</sub></b>	Gas incoloro, de olor agradable. Muy oxidante e irritante	Contaminante secundario, se forma en presencia de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos orgánicos aromáticos	Muy oxidante, afecta a materiales, plantas y a todos los seres vivos	Límite medio horario <b>180 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Benceno</b>	Producto volátil y de olor desagradable, disolventes orgánicos	Motores combustión, industria química, gasolineras	Cancerígenos según concentraciones	Valor medio anual: <b>5 µg/m<sup>3</sup></b>

Figura 5 Principales variables utilizadas en los informes de calidad del aire del Govern de les Illes Balears.

Fuente: Caib

En cuanto a la contaminación acústica, esta ha adquirido importancia en las zonas limítrofes con el puerto ya que afecta a la salud y el bienestar de las personas.



**Figura 6** Sensores de medición de partículas y ruidos. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares

Esta red de sensores es viable para poder monitorizar en todo momento la situación ambiental en los recintos y proximidades portuarias, además de ser económica.



**Figura 7** Localización de la red de sensores. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares



## 4.2 Emisiones en el puerto de Palma

Cabe destacar que limitando con el puerto encontramos una vía con gran densidad de tráfico durante gran parte de la jornada, esto también contribuye a la contaminación del aire del propio puerto, teniendo en cuenta el viento esto podría hacer que se malinterpretasen las emisiones reales en un determinado momento.

En el puerto de Palma encontrar tres zonas principales de actividad marítima:

- Dique del Oeste (al sur)
- Muelle Paraires y muelles Poniente
- Muelles comerciales (al norte)

En la siguiente figura podemos observar las áreas de influencia de las diferentes zonas portuarias, de mayor a menor influencia.



Figura 8 Zonas de atraque y zonas de influencia de cada una de ellas. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares

Como es lógico las zonas más perjudicadas por la contaminación son las más próximas a los muelles, seguido del paseo marítimo que además se añade la polución de los vehículos.

En la siguiente tabla realizada por el proyecto *OPS Master Plan Spanish Ports* se han recogido la cantidad de emisiones según partículas y tipo de buques para los años 2019 y 2020. [[12]]

Puerto	Tipo de Buque	Año	CO2 (Kg)	SOx (Kg)	NOx (Kg)	PM100 (Kg)	PM25 (Kg)
Palma de Mallorca	Cementerero	2019	198,00	0,06	3,74	0,07	0,06
		2020	155,86	0,05	2,94	0,05	0,05
	Crucero	2019	40.233,22	12,89	759,74	13,57	12,89
		2020	10.377,79	3,32	195,97	3,50	3,32
	Ferris	2019	7.778,85	2,49	146,89	2,62	2,49
		2020	4.295,78	1,38	81,12	1,45	1,38
	Carga General	2019	491,95	0,16	9,29	0,17	0,16
		2020	182,79	0,06	3,45	0,06	0,06
	Petroleros/Gaseros	2019	807,01	0,26	15,24	0,27	0,26
		2020	553,87	0,18	10,46	0,19	0,18
	RO-RO	2019	879,31	0,28	16,60	0,30	0,28
		2020	853,27	0,27	16,11	0,29	0,27

**Tabla 6 Cuadro de emisiones en el puerto de Palma según tipo de buque y año Fuente: Poweratberth**

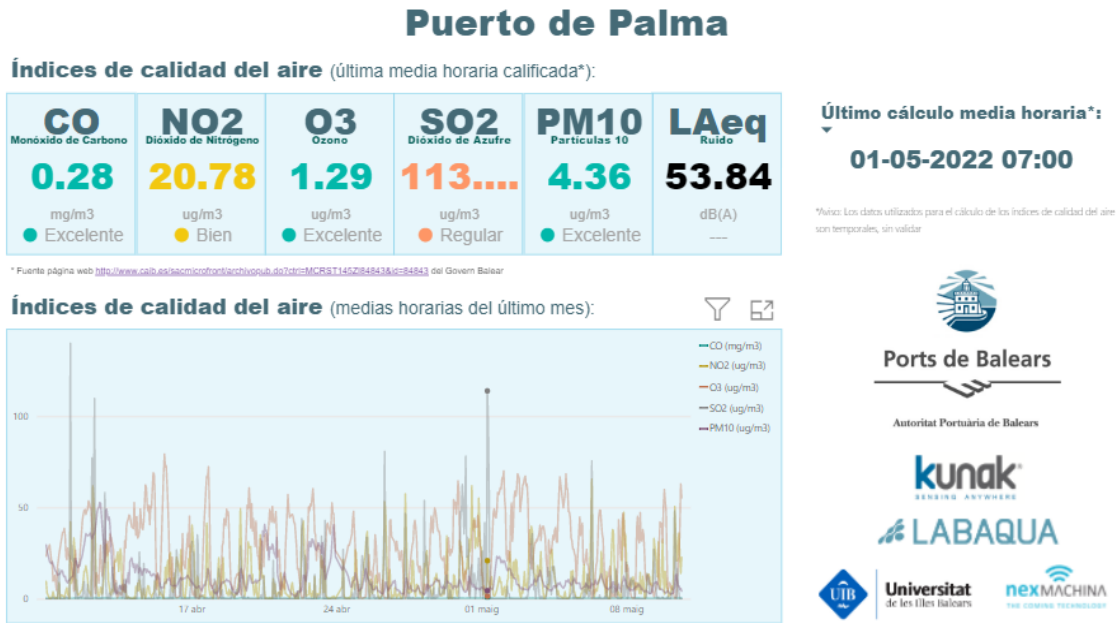
Teniendo en cuenta que el año 2020 las emisiones se redujeron respecto a las del 2019 debido a la pandemia ocasionada por el Covid-19, y con la mejora en la actualidad podríamos coger como referencia las emisiones del año 2019.

Mediante los umbrales determinados para saber los índices de contaminantes y los valores que arrojan los sensores distribuidos por los recintos portuarios se determina la calidad del aire.

Contaminante	Nivel del Índice (basado en concentración de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
PM2,5	0-10	11-20	21-25	26-50	51-800
PM10	0-20	21-35	36-50	51-100	101-1200
NO <sub>2</sub>	0-40	41-100	101-200	201-400	401-1000
O <sub>3</sub>	0-80	81-120	121-180	181-240	241-600
SO <sub>2</sub>	0-100	101-200	200-350	351-500	501-1250

**Figura 9 Umbrales para los distintos parámetros. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares**

En el puerto de Palma la franja horaria con más buques atracados es de 0400 a 1200, en la siguiente figura podemos observar un ejemplo de los niveles a una determinada hora.



**Figura 10 Índices contaminantes puerto de Palma. Fuente: Autoridad Portuaria Baleares**

Analizando las gráficas obtenemos que los niveles no sobrepasan los umbrales máximos, de hecho en temporada baja con solo ferries y algún buque de carga tenemos valores que se mantienen por debajo de los niveles “buenos”, en temporada estival y durante las primeras horas del día coinciden ferries, buques de carga y cruceros que hacen un total de entre 10 y 14 buques dependiendo de la franja horaria, esto dispara los niveles de calidad del aire superando los umbrales y llegando incluso a valores “malos”.

Como se ha mencionado en el apartado de normativa y estándares en el proyecto Smartsens port-Palma obtenemos tres niveles sonoros ambientales, en periodos diurnos, vespertino y nocturno de un año (Ld, Le y Ln, respectivamente), haciendo una media de estos valores obtenemos “La eq”, que será el nivel sonoro continuo equivalente en un intervalo temporal de x segundos. (referencia)

Tipo	Año	Tamaño (GT)	Potencia auxiliares (kW)	Condiciones trabajo	Niveles de ruido auxiliares (dBA)	Niveles de ruido ventilación (dBA)
RO-PAX	2002	24.409	3x1.285	800	109,3	113,2
RO-RO	1999	12.076	2x980	400	107,5	109
Crucero	2002	139.570	-	-	105,3	98,7
Crucero	2016	55.254	-	-	101,6	97,5

**Tabla 7 Nivel de ruido según tipo de buque. Fuente: Euronoise2018**

Como ejemplo de buques RO-PAX que recalán en el puerto de Palma, tenemos al Sicilia de la compañía Balearia, un buque de la serie “Visentini” de 186 m de eslora del año 2002.

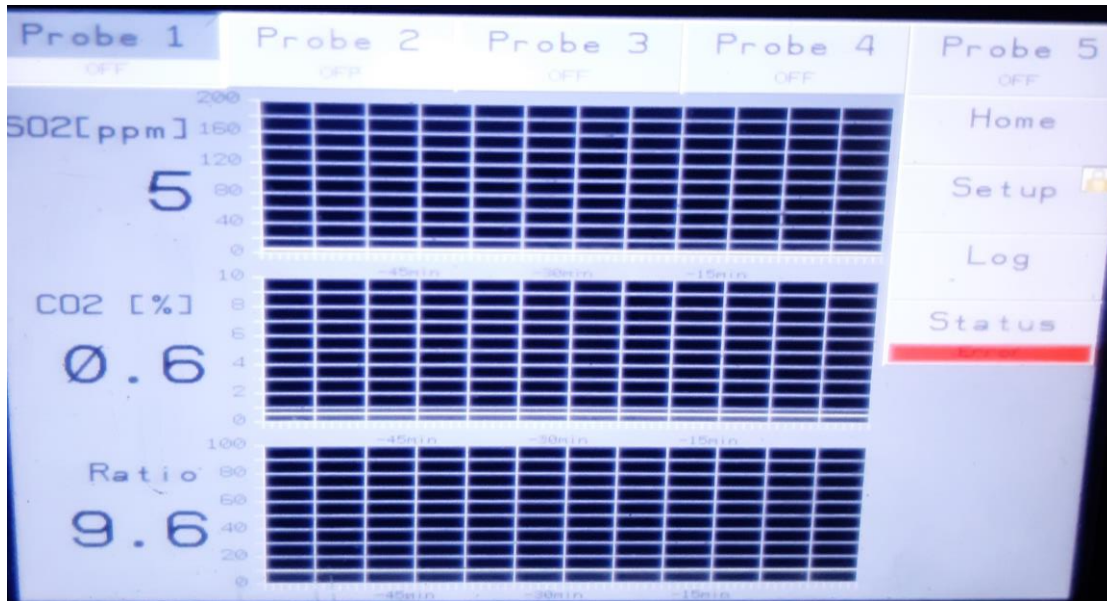


Figura 11 Valores de emisión M.M.P.P Fuente: Propia

En la siguiente tabla se plasman los distintos valores de los contaminantes para diferentes regímenes del motor.

Se trata de 3 motores auxiliares Caterpillar 3512B con una potencia de 1285kW cada motor auxiliar.

Potencia (%)	NOx kg/hr	CO kg/hr	CO2 kg/hr	HC kg/hr	NOx g/kWhr
100	11,716	4,943	691,69	0,0696	10,66
75	6,832	2,469	522,80	0,0899	8,29
50	4,212	0,459	360,16	0,1082	7,49
25	2,289	0,132	195,61	0,1145	8,26
10	1,326	0,232	102,04	0,1202	11,94

Tabla 8 Emisiones según régimen de funcionamiento de un auxiliar Fuente: Caterpillar



## 4.3 Reducción de ruidos y emisiones

Realizando una comparación entre los factores de emisión generados por los motores auxiliares de los buques y las centrales de generación de energía de la isla de Mallorca, obtenemos que la implementación de un sistema Cold Ironing en el puerto de Palma reduciría considerablemente las emisiones contaminantes tanto en el recinto portuario como en las proximidades y barriadas.

El factor de emisión por MWh de generación de la red nacional es más bajo que el de los motores auxiliares del buque, del mismo modo las emisiones generadas por la red eléctrica nacional se generan en áreas alejadas de los núcleos urbanos.

Para la elaboración de la siguiente tabla se ha realizado una media de la generación de CO<sub>2</sub> durante un año, para los factores NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> se ha recopilado información de los diferentes informes obtenidos, además los valores obtenidos para los motores auxiliares son de obtención propia.

	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	SO <sub>x</sub> (g/kWh)	CO <sub>2</sub> (g/kWh)
Factores de emisión para motores auxiliares en puerto	11,8	0,46	690
Factores de emisión para la producción de energía eléctrica en Mallorca	1,54	0,72	410
Diferencia entre factores de emisión	10,26	-0,3	280
Porcentaje de reducción	86,9%	-36,1%	68,3%

**Tabla 9 Emisiones según fuente y diferencias. Fuente: Puertos del Estado**

La instalación de un sistema Cold Ironing no reduciría notablemente los ruidos provenientes de los buques en puerto ya que los sistemas de ventilación o refrigeración seguirían en funcionamiento, no obstante, se eliminaría la fuente principal del ruido y por lo tanto mejorarían las condiciones de los tripulantes y personal portuario.

## 5 Alternativas para la reducción de emisiones

En el transporte marítimo actualmente existen sistemas con energías renovables en fase experimental, aunque cada vez más se ven motores con emisiones más limpias e incluso buques totalmente eléctricos, más comunes en embarcaciones de recreo e incluso en transbordadores, pero se están implementando cada vez más en buques de carga.

La naviera Maersk ha apostado por el metanol o combustible bajo en azufre, este combustible es muy versátil ya que se manipula a temperatura y presión ambiente y además reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Otra alternativa es el biocombustible el cual se obtiene a través de un tratamiento físico o químico de residuos orgánicos o materia vegetal, la utilización de este combustible se puede hacer junto con los combustibles fósiles tradicionales. Desde principios del 2000 ha habido un incremento exponencial en la producción mundial de este tipo de combustible. [[11]]

Desde la unión europea se anima a las navieras de los países miembros a implementar este tipo de tecnologías, los fondos CEF de la unión europea han subvencionado en un 20% el proyecto de remotorización de varios buques de la naviera balearia para que sean propulsados a gas. [[10]]

### 5.1 Uso de GNL y Scrubbers

El uso de GNL comparado con los combustibles derivados del petróleo es mucho más beneficioso, no genera prácticamente partículas de azufre ni compuestos orgánicos ni óxidos nitrosos además de reducir en hasta un 25% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

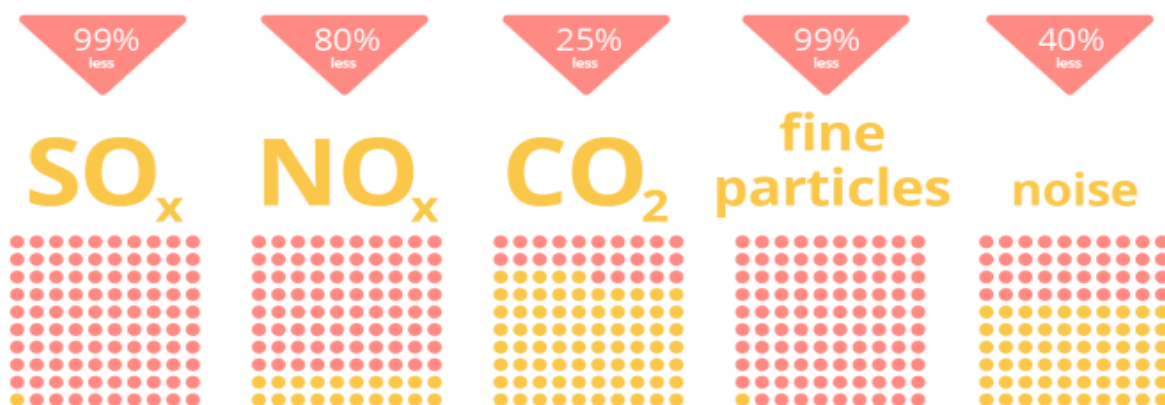


Figura 12 Comparativa de emisiones entre GNL y combustibles fósiles Fuente: Elenger

El GNL se encuentra más diseminado que el petróleo y por lo tanto reduce la dependencia del mismo, asegura suministro y se traduce en un coste menor del combustible.

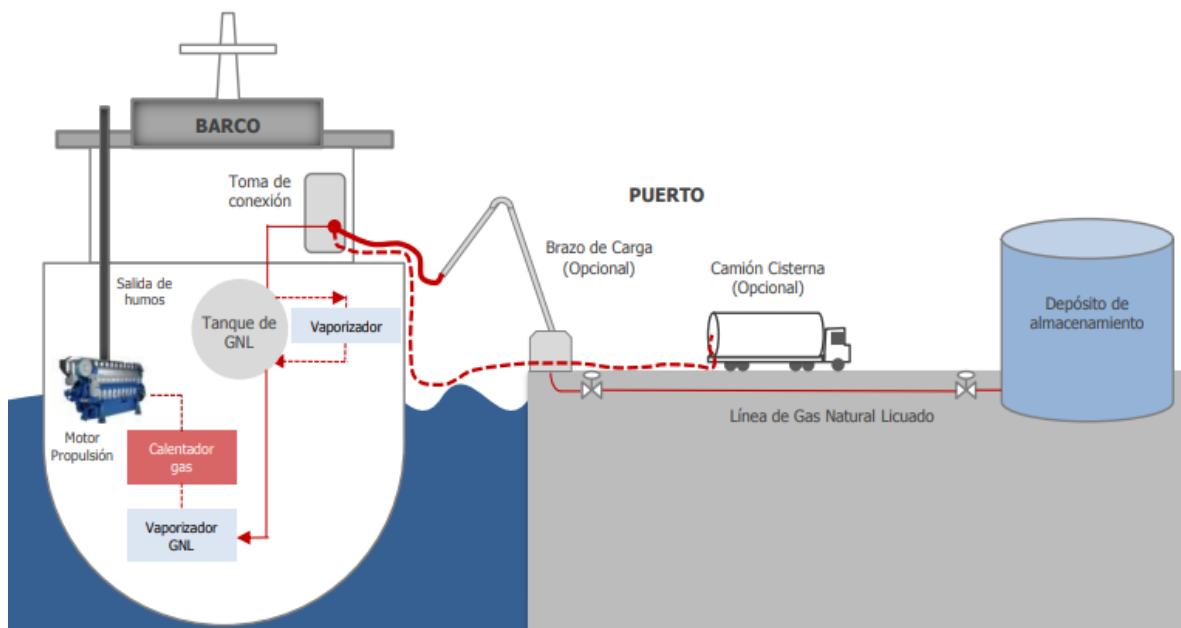


Figura 13 Esquema de suministro de GNL a un buque desde puerto Fuente: Puertos del Estado

A pesar de todos los beneficios tanto económicos como ecológicos la utilización del GNL en buques necesita de una remotorización y reformas lo cual lo hace un poco menos atractivo para las navieras. Desde tierra se necesita una red de suministro más eficaz a través de la cual los buques se puedan suministrar sin ningún tipo de problema, a día de hoy en España este sistema está bien implementado y con varias empresas de suministro funcionando. [[11]]

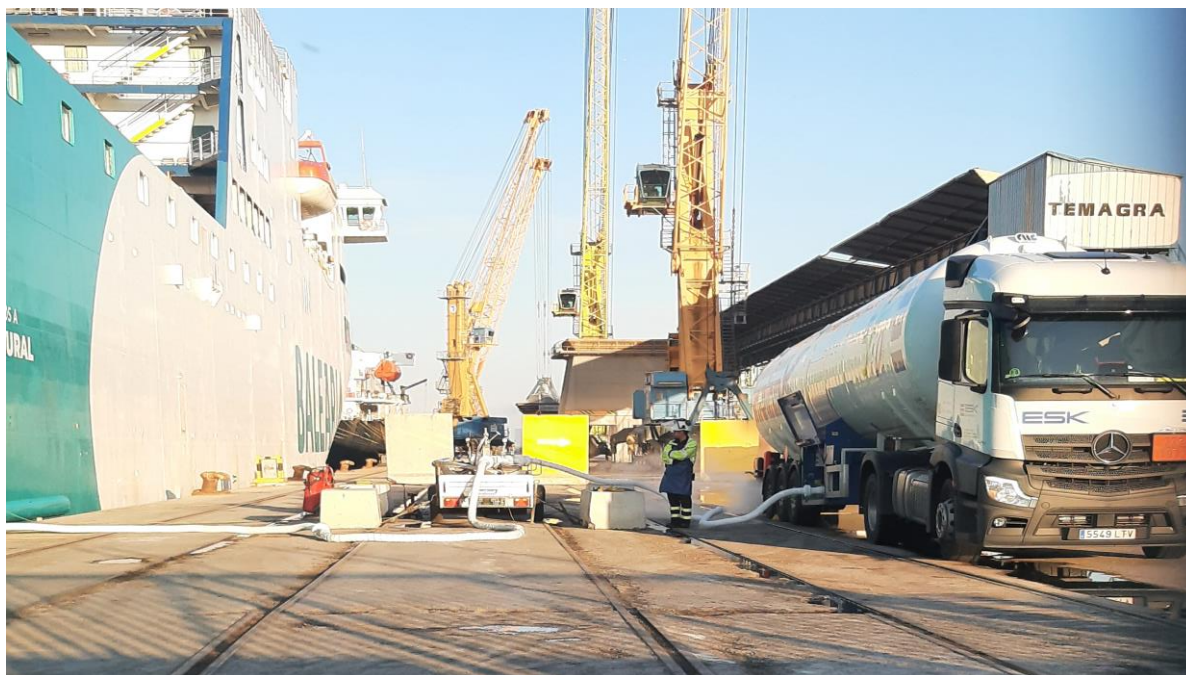


Figura 14 Suministro de GNL a través de un camión en el puerto de Valencia. Fuente: Propia

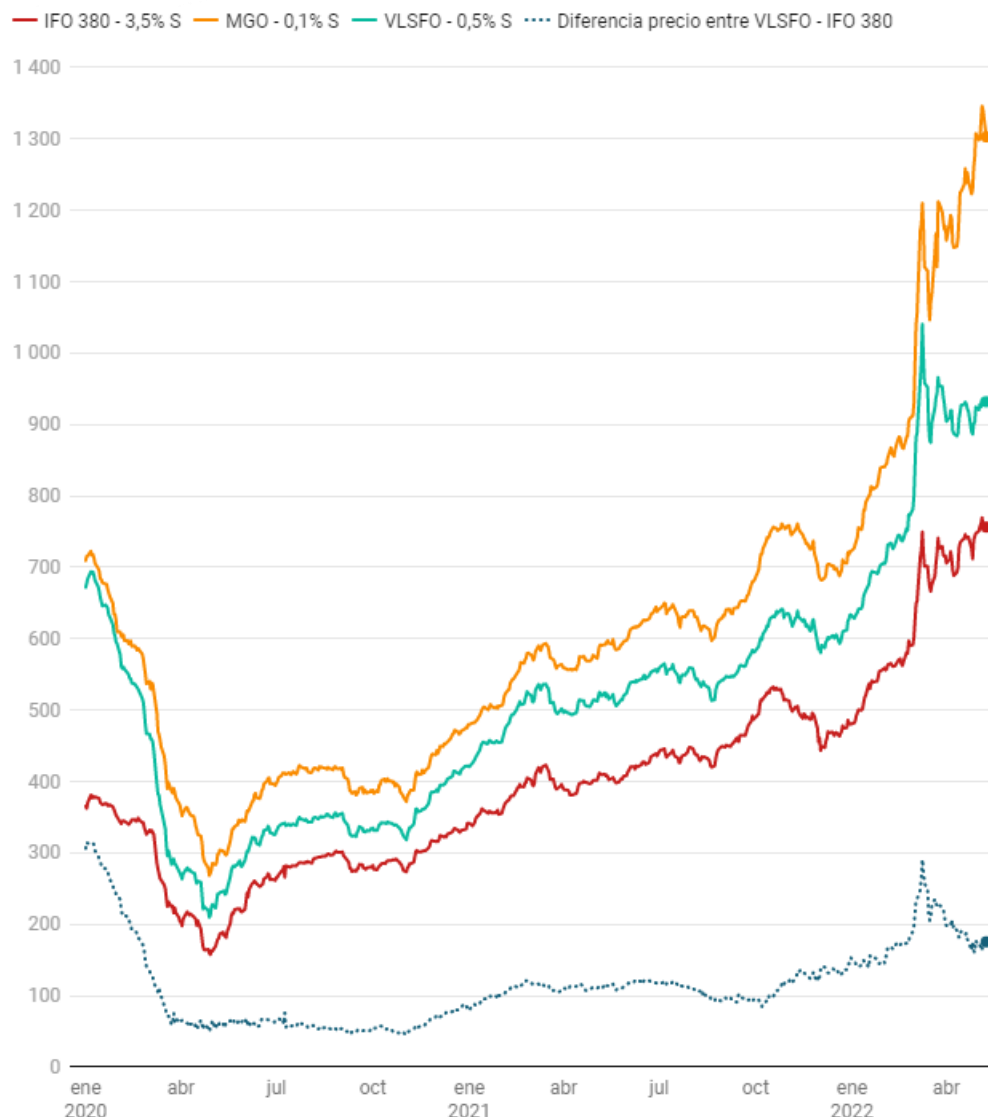
Dependiendo del tipo de buque las reformas a veces pueden ser costosas, en algunos casos los tanques de gas ocupan espacio de carga y en otros casos aprovechan espacios vacíos o inutilizables.



**Figura 15 Tanques de GNL en el buque Hypatia de Alejandría de la compañía balearia. Fuente: Balearia**

No obstante, desde la subida del precio del GNL la mayoría de compañías que lo utilizaban se han visto obligados a volver a utilizar los combustibles comunes y más contaminantes como son: MGO, MFO y VLSFO entre otros.

Desde finales del 2021 y con la invasión rusa en Ucrania el precio de los combustibles marinos tiene tendencia ascendente. Un promedio de los precios actualmente apunta a los 724\$/t de HFO, 987 \$/t de VLSFO, 1180\$/t de MGO y 2500\$/t de GNL, según la página especializada en bunkering [shipandbunker.com](http://shipandbunker.com).



**Figura 16 Evolución de los combustibles marinos 2020-2022 promedio. Fuente Anave**

El aumento de precios en los combustibles ha propiciado que las compañías tomen decisiones como reducir la velocidad de operación en los buques.

Comparando los precios de los combustibles obtenemos que actualmente partiendo de una base energética equivalente el precio del GNL es el doble que el VLSFO.

Los catalizadores o scrubbers hacen lo que sugiere el nombre, "lavar" los gases de escape a través de una nube de agua, convirtiendo el SOx en SO4 y reduciendo las emisiones nocivas generadas por la quema de combustible. El agua que se utiliza en este sistema es el del mar por sus propiedades alcalinas necesarias para reaccionar con el SOx. Los residuos generados se almacenan para su posterior retirada por una empresa autorizada en puerto. Los catalizadores se instalan en la línea de los gases de escape, esto dificulta en algunos casos la instalación y empeora la estética (importante en ciertos tipos de buques).

Este sistema reduce casi en un 90% las emisiones de SOx sin embargo no reducen las emisiones de CO2. Presenta unos consumos más elevados (entorno al 5%) y genera más ruido y poca estabilidad en los equipos por lo que se necesita un elevado mantenimiento.

Para la instalación de catalizadores no es necesaria una gran inversión, pero sí un alto coste de mantenimiento.

Las principales navieras dedicadas al transporte de pasajeros y mercancías que operan en el puerto de Palma son: Balearia, Tramed y GNV, estas navieras desde hace años han empezado a instalar sistemas para reducir las emisiones a la atmósfera.

Balearia ha apostado por el uso del GNL como combustible, tanto en navegación como en puerto (en alguno de sus buques). En cuanto a Tramed y GNV han apostado por la instalación de catalizadores o “Scrubbers”.

## 6 El Cold Ironing como alternativa

Para que el proyecto del Cold Ironing tenga éxito, deberá existir una demanda mínima de buques, normalmente un puerto con líneas regulares de pasaje cumple con esta condición ya que están asegurados las recaladas de buques, del mismo modo, este sistema es una gran alternativa al combustible en puerto para los grandes cruceros, que son los grandes contaminantes en puerto debido a su alto consumo eléctrico para satisfacer la demanda de sus instalaciones.

A si mismo para que en un puerto sea rentable la instalación de esta tecnología se han de tener en cuenta una serie de parámetros como son: recaladas en el puerto, horas de ocupación del muelle y navieras interesadas, entre otros.

### 6.1 Requerimientos en la infraestructura portuaria y del buque

Para la instalación de un sistema OPS o Cold Ironing se requieren una serie de elementos, tal y como se observa en la Figura 1 estos elementos son:

- Conexión a la red eléctrica, la cual suministra en alto voltaje (20-100kV).
- Centro de distribución y centros de maniobra y medida (CMM).
- Subestación local, reducirá los voltajes a entre 6-20kV.
- Convertidor de frecuencia, es opcional, aunque recomendable cuando los buques que recalán trabajan en diferentes frecuencias (50 Hz o 60 Hz).
- Sistema de distribución de red por las diferentes canalizaciones existentes o nuevas para que llegue la electricidad a los cuadros de conexión en el muelle.
- Cuadros de conexión, estructuras donde se encuentran las tomas eléctricas necesarias. Pueden existir cajas enterradas en el muelle o cajas en superficie. [Anexo 8]
- Sistema de gestión del cableado o grúa, estas pueden ser móviles o fijas, para poder subir y bajar los cables, así como posicionarlos correctamente. Pueden ser opcionales.

Para la infraestructura necesaria abordó, siendo la responsabilidad de cada buque y su naviera es necesario un sistema eléctrico que proporcione una conexión rápida y segura con la terminal, estos elementos son:

- Cuadro de conexión a los cables procedentes del muelle. [Anexo 8]
- Transformador, para adecuar la tensión del puerto a la del buque, ya que habitualmente en los buques se trabaja en 400-450 V.

En un buque el cuadro de conexión a tierra debe estar en ambos costados del buque, además de la instalación de un cuadro de interconexión al cuadro eléctrico principal del buque.



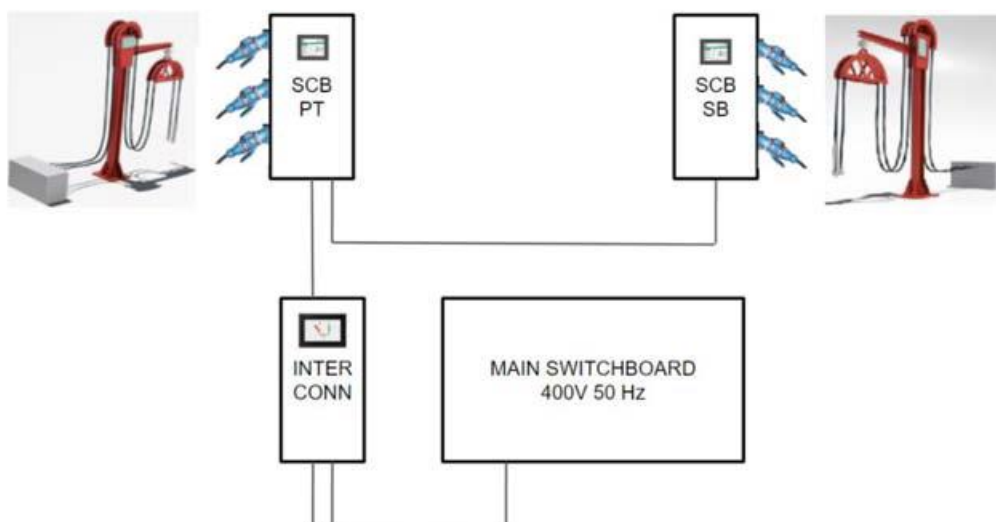


Figura 17 Ejemplo de instalación a bordo Fuente: Poweratberth

## 6.2 Demanda eléctrica de los buques

En la actualidad cuando un buque está atracado en puerto apaga los motores principales y enciende los auxiliares para abastecer la demanda eléctrica del buque. Según el tipo de buque cambiará la potencia requerida.

Tipo de Buque	Potencia media requerida	Picos de potencia	Voltaje medio requerido
RO-RO/RO-PAX	1.500 kW	2.000kW	450V
BUQUE TANQUE	1.400kW	2.700kW	450V
CRUCERO	5.800kW	11.000kW	440V-6,6kV

Tabla 10. Potencia y voltaje estimado para cada tipo de buque. Fuente: Ericsson & Fazlagic [[13]]

La potencia requerida en cruceros es mucho mayor al requerido por otro tipo de buques, esto viene dado por el alto gasto energético que conllevan algunos equipos eléctricos como: las ventilaciones, cocinas, aires acondicionados, etc....

### 6.2.1 Tensión

Para que un buque pueda consumir la energía eléctrica que necesita la terminal ha de tener la subestación preparada en media tensión (MT) o baja tensión (BT). La electricidad que llega al puerto se transporta en alta tensión (AT) y por ello en el puerto tiene que haber una estación transformadora.

Normalmente los buques de alta velocidad suelen trabajar en BT, con valores de entre 380 y 460V y potencia de entre 80 y 150 kW, mientras los buques tanque, portacontenedores, cruceros y RO-PAX trabajan con MT, valores entre 440 V y 11kV. [[13]]



Como se ha mencionado en el apartado de normativa, existen dos normas que regulan los sistemas de conexión a buques:

-ISO/IEC/IEEE 80005-1:2019, regula los sistemas con conexión en AT y MT.

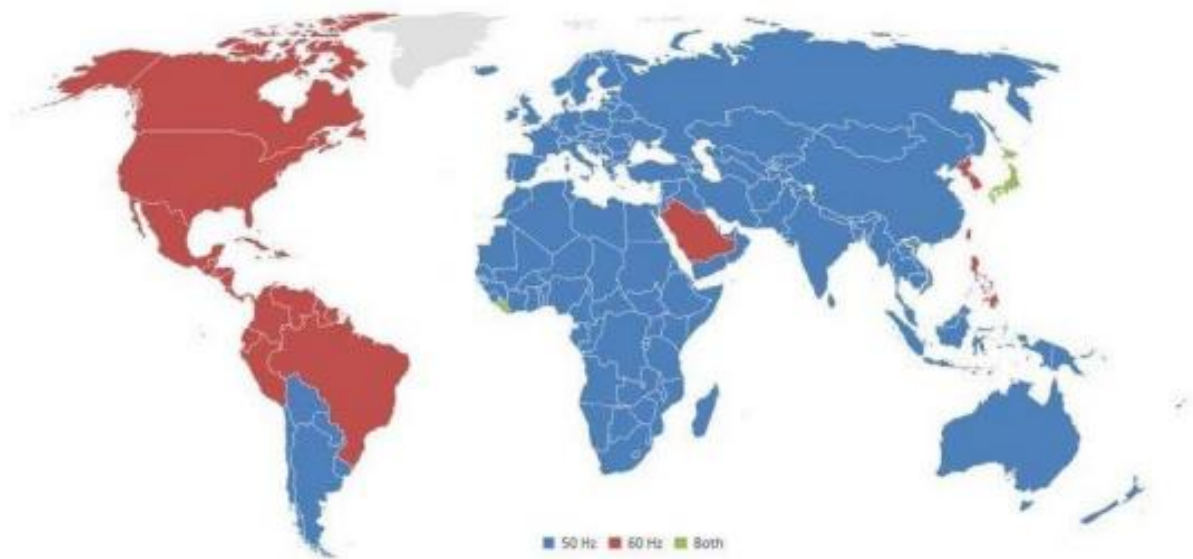
-ISO/IEC/IEEE 80005-3, regula los sistemas con conexión en BT.

Para que un buque que trabaja en BT se suministre en MT precisará de un transformador reductor de tensión a bordo.

Según la tensión del buque un sistema Cold Ironing se puede implementar de dos formas, en media tensión (MT) y en baja tensión (BT). Un sistema con conexión en MT es más frecuente y tiene una serie de ventajas como el menor número de cableado necesario y menor coste en la instalación portuaria sin embargo la instalación en algunos buques puede llegar a ser inviable, así como la necesidad de operarios cualificados para manipular los cables. En cuanto a la conexión en BT la reforma en el buque es más económica e incluso nula para aquellos buques que disponen de conexión a tierra pensada para dique seco, por otro lado, el mayor número de cables para la conexión lo hace más lento. [Anexo 5]

### 6.2.2 Frecuencia

Dependiendo de la configuración del buque podrán tener diferentes frecuencias eléctricas, normalmente en América es de 60Hz mientras en Europa es de 50Hz.



**Figura 18 Frecuencias eléctricas utilizadas en los buques en el mundo. Fuente World-power-plugs**

Dependiendo del tráfico recurrente en puerto se puede optar por un convertidor de frecuencia, para poder adaptarse a los distintos tipos de buques. La mayoría de buques de la flota mundial operan en 60Hz. [[13]]

Para poder convertir la frecuencia se necesita reducir la tensión de la línea, estos equipos convertidores suponen la mitad de la inversión en el sistema. [[14]]

### 6.2.3 Conexión

Para la conexión al buque desde el muelle se requerirá de un equipamiento y personal especializado.

Desde el muelle, encontramos las cajas de conexión y en algunos casos grúas de gestión del cableado, las cajas de conexión se encuentran a escasos metros del buque y cuentan con una serie de tomas para el suministro eléctrico. Pueden existir cajas verticales o enterradas en el muelle. [Anexo 8] [Anexo 9]

Las grúas de gestión del cableado ordenan y aproximan los cables desde la caja de conexión hasta el buque, hay diferentes modalidades según el movimiento, tipo de cable y nivel de automatización, pero las dos modalidades más relevantes son las grúas de base fija o de base móvil. Una grúa de base móvil permite diferentes posiciones de conexión adaptándose al muelle y buque mientras que de base fija tendrá que coincidir la situación de la grúa con la entrada de cableado del buque, esto es más frecuente en buques de línea regular que utilizan el mismo muelle.



**Figura 19** Grúa de elevación base móvil. Fuente: poweratberth

Desde el buque existen varias maneras, conectar los cables directamente desde una grúa en tierra si el cuadro eléctrico abordo está cerca. Otra opción es extender los cables hasta la borda del buque, en el caso de que el cuadro eléctrico estuviese lejos del muelle. [Anexo 5]

Los cables se conectan manualmente tanto en tierra como a bordo.

## 6.3 OPS Master Plan for Spanish Ports

“El Proyecto OPS Master Plan for Spanish Ports” tiene como objetivo la redacción de un plan director para el suministro de energía eléctrica a buques en atraque en los puertos españoles. Se integra en el Marco de Acción Nacional para el desarrollo de infraestructuras para el uso de combustibles alternativos en el sector del transporte: ello en cumplimiento del artículo 13 de la Directiva 2014/94/UE” [[12]]



Figura 20 Logo del proyecto OPS Master Plan. Fuente: poweratberth

Este proyecto está cofinanciado por la Unión Europea y tiene como objetivo la instalación de la tecnología Cold Ironing en puertos españoles, para reducir así la contaminación atmosférica y acústica en las terminales portuarias, además de adaptar los puertos también es necesaria una adaptación de los buques.

Un incentivo para el uso de esta tecnología es el descuento en la tasa portuaria, tanto los buques que utilicen gas natural o alimenten sus motores auxiliares mediante electricidad en puerto tendrán una bonificación del 50%.

El puerto pionero en España en aplicar esta tecnología fue el de Melilla y el motivo de la ejecución del proyecto fue el mismo por el cual posteriormente se aplicó en la terminal Paraires del puerto de Palma: la reducción de la contaminación acústica en las zonas residenciales próximas a las instalaciones portuarias. En 2014 se instaló el primer equipo en el puerto de Melilla y el *Volcán de Tinamar* fue el primero en utilizarlo, el cual tuvo que realizar una reforma en el propio buque para poder recibir electricidad desde tierra. El equipo está instalado en el muelle Espigón y suministra en BT a 400V y 50Hz con una potencia máxima de 700kW.

Además del puerto de Melilla actualmente existen puertos españoles con la posibilidad de suministro eléctrico en alguno de sus muelles. Del mismo modo hasta el año 2025 se irán implementado las instalaciones en los diferentes puertos del país con un coste aproximado de 25 millones de euros, aunque estará subvencionado por la unión europea. [Anexo 2]

## 7 Cold Ironing en el puerto de Palma

El puerto de Palma es desde hace siglos un punto estratégico para el comercio en el mediterráneo, a día de hoy en este puerto diariamente recalán buques de todo tipo, pero en su mayoría son: cruceros, Ro-Pax, cementeros, petroleros/gaseros y heavy lift.

Las islas baleares gozan de un ecosistema marino fantástico y por ello se ha de reducir el uso de combustibles fósiles en el transporte marítimo, tanto en la estancia en puerto como en las entradas y salidas de puerto.

El puerto con mayor tráfico en las baleares es el de Palma, capital del archipiélago. En este puerto recalán diariamente alrededor de 10 buques simultáneamente, esto causa un gran estrés para la gestión del puerto y para el medio ambiente. Esto se debe a que en los últimos años se ha convertido en un destino usual para los cruceros del mediterráneo. Según datos de la autoridad portuaria de baleares hasta el 2020 hacían escala en este puerto cerca de 500 cruceros al año. En la siguiente tabla observamos la variación en el número de cruceros llegados al puerto de Palma debido a la pandemia Covid-19.

Año	Buques
2019	591
2020	266
2021	186
2022	496 (Previsión)

**Tabla 11 Numero de cruceros en el puerto de Palma por año. Fuente: Puertos del Estado**

La congestión del puerto suele ocurrir en temporada estival ya que coinciden los cruceros, ferris y los buques de carga. Esto provoca cierto malestar entre la población que habita en los alrededores del puerto, por el ruido que ocasionan y las emisiones.

El Cold Ironing en el puerto de Palma es ya una realidad, a día de hoy el único punto de suministro se encuentra en el muelle Paraires, la empresa adjudicataria ha preparado para conectar a la red eléctrica terrestre, tanto buques tipo ferri de potencia máxima demandada de 1.600 kW (media tensión) como buques de alta velocidad de 800 kW (baja tensión).

La instalación de Cold Ironing en el puerto de Palma supondría una reducción de gases contaminantes y ruidos, la mayoría de los ferries que recalán en palma llegan al puerto a primera hora de la mañana y hasta el medio día no arrancan los principales para retomar la navegación a la península. La duración media de estos buques en puerto es de 5 horas y por lo tanto reduciría en gran medida la contaminación aplicando electricidad desde tierra. En cuanto a los cruceros, cementeros y petroleros/gaseros la estancia media es de 15 horas. [Tabla 12]

BUQUE	TIPO	MUELLE	ATRAQUE	DESATRAQUE	DURACIÓN
ELEANOR ROOSEVELT	RO-PAX	PARAIRES	22:00:00	8:00:00	14:00:00
ABEL MATUTES	RO-PAX	1º AL.DIQUE OESTE	5:30:00	11:30:00	6:00:00
SICILIA	RO-PAX	2º AL.DIQUE OESTE	5:00:00	10:45:00	5:45:00
HYPATIA DE ALEJANDRÍA	RO-PAX	AL.OESTE PLATAFORMA	6:00:00	10:30:00	4:30:00
CIUDAD DE PALMA	RO-PAX	MUELLE ADOSADO	5:00:00	10:45:00	5:45:00
CIUDAD DE ALCUDIA	RO-PAX	1ER.TRAMO EXT.MUELLES COMERCIALES	5:30:00	10:45:00	5:15:00
GNV BRIDGE	RO-PAX	AMPL.MUELLE PONIENTE NORTE	5:25:00	11:00:00	5:35:00
EXCELLENT	RO-PAX	2ºAL.PONIENTE NORTE	6:00:00	11:00:00	5:00:00
TINERFE	TANQUE	PANTALAN LIQUIDOS INFLAMABLES	1:41:00	23:00:00	21:19:00
MARELLA DISCOVERY 2	CRUCERO	AL.NORTE PLATAFORMA	13:20:00	22:05:00	32:45:00
MSC GRANDIOSA	CRUCERO	2ºAL.PONIENTE SUR	8:37:00	18:01:00	9:24:00

**Tabla 12 Duración de la estancia en puerto de los buques habituales. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares**

Actualmente en el puerto de Palma el muelle Paraires dispone de dos puntos de conexión y en funcionamiento, los muelles del dique del oeste, poniente y muelles comerciales aun no disponen de puntos de suministro, aunque los muelles del dique del oeste disponen de una preinstalación para la posible futura instalación de un sistema de conexión a tierra.

El estudio se centra en buques tipo HSC (High Speed Craft), RO-PAX y Cruceros.



## 7.1 Configuración del puerto



Figura 21 Mapa puerto de Palma Fuente: Autoridad Portuaria Baleares

Para la aplicación del Cold Ironing en el puerto de Palma nos centraremos en los muelles con uso comercial, por lo tanto, lo dividiremos en 3. En dirección sur-norte, en primer lugar, se encuentra el dique del oeste, con 8 posibles atraques, en esta dársena atracan ferris, cruceros, cementeros y petroleros.

A continuación, está el muelle Paraires, donde atracan dos ferris uno de alta velocidad y otro convencional. La dársena de poniente dispone de 6 atraques donde atracan tanto ferris como cruceros.

La dársena de muelles comerciales dispone de 7 atraques, aunque normalmente solo se utilizan 3: 1er tramo de muelles comerciales, testero MM.CC. y muelle adosado con uso tanto ferris como buques RO-RO. [Anexo 3]

El ámbito de actuación del proyecto se limita a una serie de muelles con mayor frecuencia de atraques. Nos centraremos en el dique del oeste, alineaciones de poniente y muelles comerciales.

Zona	Muelle	Longitud (m)	Calado (m)	Tipo de buque	Puntos de suministro
<b>Dique del Oeste</b>	Ribera de San Carlos	250	12	RO-PAX	1
	1ª Al. Dique del Oeste	360	12	RO-PAX, Cruceros	1
	Al. Oeste plataforma adosada	198	12	RO-PAX	1
	Al. Norte plataforma adosada	285	12	RO-PAX, Cruceros	1
	2ª Al. Dique del Oeste	440	12	RO-PAX, Cruceros, General	2
<b>Poniente</b>	1ª Al. Poniente sur	440	12-8	RO-PAX, Cruceros	1
	2ª Al. Poniente sur	370	12-8	RO-PAX, Cruceros	1
	1ª Al. Poniente norte	300	12-8,5	RO-PAX, Cruceros	1
	2ª Al. Poniente norte	360	12-8,5	RO-PAX, Cruceros	1
	Ampliación Poniente	275,8	10-6	RO-PAX, Cruceros	1
<b>Muelles Comerciales</b>	1er. Tramo Exterior	220	11	RO-RO/RO-PAX	1
	Testero MM.CC	200	10-9	RO-RO/RO-PAX	1
	Muelle adosado	176	9-8	RO-RO/RO-PAX	1

**Tabla 13 Posibles puntos de suministro eléctrico en cada muelle Fuente: Propia**

El sistema con el que se trabajará en estos muelles será en media tensión (MT) a 11 kV, con una potencia máxima de demanda aproximada de 1600kW y frecuencia de 50-60 Hz.

El Centro de Maniobra y Medida (CMM) es el que da suministro del sistema eléctrico a los muelles de Paraires y Poniente, a través de centros de transformación (CT) [Anexo 6]. Para la aplicación del sistema Cold Ironing se necesitarán dos centros de maniobra y medida (CMM), uno para el dique del oeste y otro para muelles comerciales, además de sus respectivos centros de transformación (CT) y canalizaciones.

## 7.2 Demanda eléctrica de los buques

El proyecto de la instalación Cold Ironing en el muelle Paraires busca satisfacer las necesidades energéticas de dos buques que habitualmente atracan en este muelle, el fast ferry Eleanor Roosevelt de la compañía balearia y un ferry convencional de la compañía Tramed GLE.

Las navieras han expresado abiertamente su compromiso para la reducción de emisiones de sus buques, por ese motivo está en estudio la ampliación del sistema Cold Ironing en los diferentes muelles. Los buques que habitualmente atracan en el puerto de palma son los siguientes.

BUQUE	TIPO	GT	Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	Potencia media (kW)
ELEANOR ROOSEVELT	RO-PAX	12.262	380-400	50	100-200
ABEL MATUTES	RO-PAX	29.670	400-450	50-60	800-1.000
HYPATIA DE ALEJANDRIA	RO-PAX	28.658	400-450	50-60	800-1.000
SICILIA	RO-PAX	24.409	400-450	60	800
CIUDAD DE PALMA	RO-PAX	27.105	400-450	50-60	800-1.000
CIUDAD DE ALCUDIA	RO-PAX	33.588	400-450	50-60	800-1.000
CIUDAD DE GRANADA	RO-PAX	26.916	400-450	50-60	800-1.000
GUBAL TRADER	RO-PAX	7.616	400-450	50-60	400-800
GNV BRIDGE	RO-PAX	32.581	400-450	50-60	800-1.000
EXCELLENT	RO-PAX	39.777	400-450	50-60	800-1.000
CRUCERO	RO-PAX	235.600	11.000	50-60	10.000-12.000

**Tabla 14 Características eléctricas de cada buque Fuente: Propia**

Habitualmente los buques tipo RO-PAX tienen una tensión de 450 V, frecuencia de 60Hz y un consumo medio requerido de 800-1000kW. En los Anexo 11, Anexo 12 y Anexo 13 observamos la potencia requerida para un RO-PAX durante su estancia en puerto utilizando motores auxiliares. [Anexo 10]

Los buques a analizar pertenecen a las compañías, Balearia, Tramed y GNV, para satisfacer las necesidades energéticas de la flota que destinan al puerto de Palma es necesaria la instalación de varios puntos de suministro en los diferentes muelles.

En el Anexo 15 podemos observar que el buque Sicilia de la compañía Balearia dispone de tres motores auxiliares los cuales funcionan con MDO, al disponer cada motor de una potencia de 1285kWh se podría utilizar solamente uno, pero se utilizan dos simultáneamente con una potencia eléctrica mucho inferior, de este modo el motor no se revoluciona tanto y el consumo es reducido. Al utilizar habitualmente solo dos motores el restante queda "descansando" para que al día siguiente esté en funcionamiento, "apagando" el motor auxiliar que el día anterior estaba en funcionamiento.

El consumo habitual de estos motores auxiliares es de 120-130 litros/hora de MDO.



En cuanto a los cruceros que recalán en el puerto de Palma, Carnival Cruises, propietaria de Costa y AIDA tiene un 43% de su flota preparada para el suministro eléctrico desde tierra. Norwegian y Viking tienen disponibles dos buques preparados para realizar el suministro. [[18]]

### 7.2.1 Reforma eléctrica de cada buque.

En el caso de que un buque no estuviese preparado para la conexión a tierra, se realizara una pequeña reforma e instalación de equipos que no supone una gran inversión en comparación a los beneficios ofrecidos, ya que la instalación no requiere de transformadores-reductores a bordo.

En el caso de buques HSC (High Speed Craft) o fast ferry únicamente se recomienda instalar un sistema de gestión de potencia con armario de entrada con cinco tomas trifásicas en baja tensión (BT). En el caso de ferries convencionales al tratarse de (MT) son dos tomas trifásicas y la instalación de un sistema de gestión de potencia y un armario de entrada.

Concepto	Precio/Unidad
Transformador 3 MVA 11/0,4 kV	201.500€
Conectores	1.048€
Contactores y seccionadores	4.250€
Compartimento para el transformador	6.688€
Sistema de sincronización	23.000€
Equipo de control a bordo	3.447€
Coste sistema eléctrico RO-PAX	239.933€
Coste sistema eléctrico HSC	38.433€
Costes de homologación	40.000€
Otros costes	58.000€
Coste total buque fast ferry	136.000€
Coste total buque ferry	337.993€

**Tabla 15 Costes de inversión en dos tipos de buques para su adaptación al sistema OPS. Fuente: Poweratberth [[15]]**

El coste aproximado por la reforma de un HSC es entorno a los 130.000€, mientras para un RO-PAX convencional es de 330.000€. [[16]]

## 7.3 Generación y distribución eléctrica en la isla de mallorca

Según la Red Eléctrica Española la fuente de electricidad en la isla de mallorca está constituida por:

- Centrales de ciclo combinado, representa el 78% de la energía que se consume en la isla.

CENTRAL	POTENCIA	COMBUSTIBLE
Son Reus	601 MW	GNL/G.O
Cas Tresorer	480 MW	GNL/G.O
Es Murterar	335MW	CARBÓN/G.O

**Tabla 16: Centrales ciclo combinado isla de mallorca. Fuente: Red Eléctrica de España**

- Centrales de residuos, representa el 9% de la energía que se consume en la isla.
- Conexión Península-Baleares, representa el 13% de la energía que se consume en la isla, conexión llevada a cabo gracias al proyecto Rómulo.

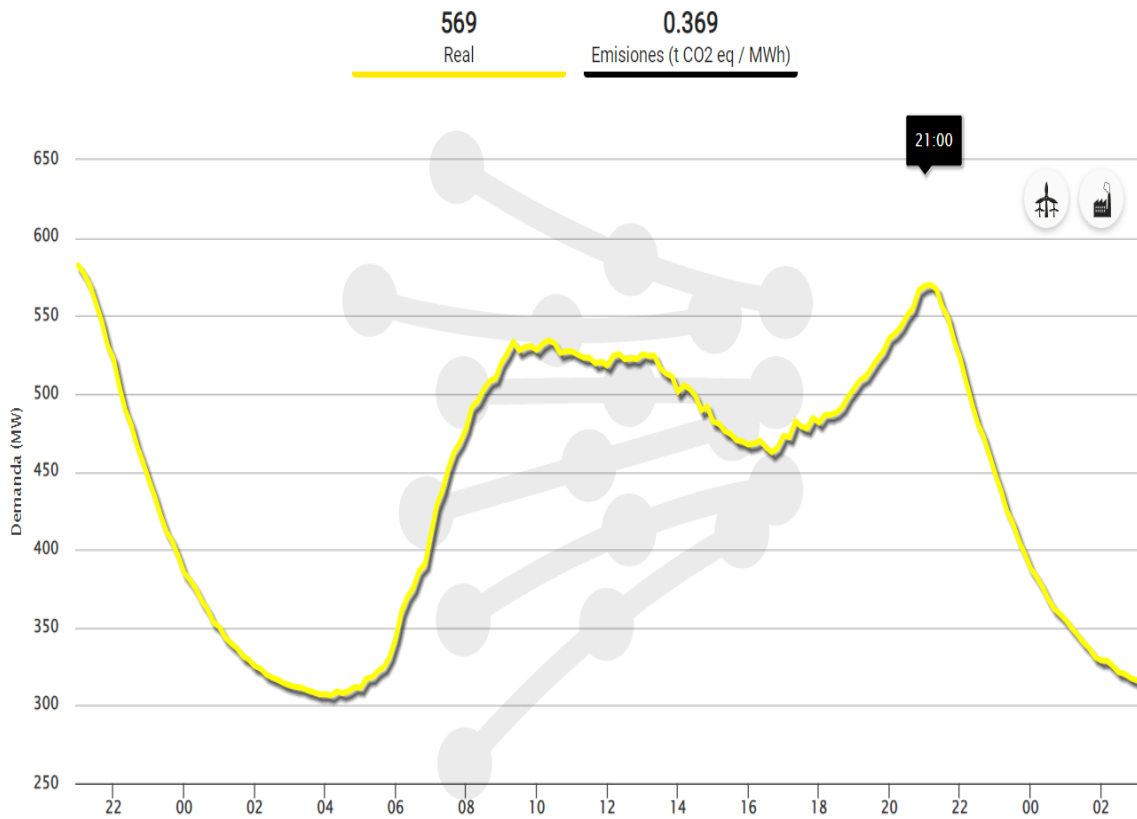
El proyecto Rómulo se trata de una conexión submarina que conecta Sagunto (Valencia) con Santa Ponsa (Mallorca), el enlace tiene una longitud total de 244km y una profundidad máxima de 1485m, la capacidad de transporte es de 400MW y la tensión de +-250kV. [[6]]

Estos datos confirman la capacidad de la red eléctrica en baleares para poder llevar a cabo una instalación OPS en los diferentes puntos de los recintos portuarios.

La red eléctrica de España pone a disposición del usuario la posibilidad de visualizar el estado de la generación de electricidad por tipo de tecnología utilizada y a su vez las emisiones que generan cada una de estas tecnologías.

	01/May/22
Motores diésel	562
Turbina de gas	228
Ciclo combinado	3.884
Cogeneración	11
Residuos no renovables	88
<b>tCO2 eq./MWh</b>	<b>0,40</b>

**Figura 22: Emisiones de CO2 eq. según tipo de generación sistema eléctrico balear Fuente: Red Eléctrica de España**



**Figura 23: Demanda de energía en un día isla de Mallorca Fuente: Red Eléctrica de España**

La empresa distribuidora de electricidad en la isla de Mallorca es Endesa S.A., así como la que dará servicio a los puntos de suministro en el puerto en función de las necesidades.

Desde la autoridad portuaria de baleares se ha adjudicado a la empresa SAMPOL la ejecución de las infraestructuras para las conexiones, aunque esta empresa no será la que disponga de las grúas gestoras del cableado.

## 7.4 Muelle de Paraires

Desde el 2016 la autoridad portuaria de baleares (APB) ha participado con otros puertos nacionales de interés general en el proyecto OPS Master Plan, mencionado anteriormente, este proyecto tenía contemplado una prueba piloto en el puerto de Palma para instalar el sistema Cold Ironing en el muelle Paraires y así permitir la conexión a la red eléctrica a los buques atracados en ese muelle. En 2018 la APB informó a las navieras que operan en el muelle Paraires de que se instalaría el sistema Cold Ironing y que tendrían la opción de conectarse a la red eléctrica del puerto. Cabe resaltar que lo habitual en este muelle es que atraquen un buque tipo HSC o fast ferry y un buque tipo ferry convencional.

Para el buque tipo fast ferry el suministro será en baja tensión (BT), a bordo dispone de una red de distribución trifásica (3F+1T) a 380V con una frecuencia industrial de 50Hz, la potencia máxima de demanda es de 800kW.

En cuanto al buque tipo ferry convencional el suministro será en media tensión (MT), a bordo dispone de una red de distribución trifásica (3F+1T) a 400V con una frecuencia industrial de 60Hz, la potencia máxima de demanda es de 1.600kW.

Por lo tanto, el muelle dispone de dos puntos de conexión muelle-buque.

Según el estudio realizado por Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España S.A., S.M.E., M.P., Isdefe el coeficiente de simultaneidad es de 0,375 ya que en el muelle Paraires pueden atracar simultáneamente dos buques y la estimación de consumo es aproximadamente de un 37,5% de su potencia máxima. [[15]]

Siendo la potencia máxima la suma de las potencias de los dos buques y la potencia existente la que actualmente existe en la zona menciona.

RECEPTOR	POTENCIA MAXIMA (kW)	COEFICIENTE SIMULTANEIDAD	POTENCIA PREVISTA (kW)
EXISTENTE			1.120
BUQUES	2.400	0,375	900
TOTAL			2.020

**Tabla 17 Potencia prevista muelle Paraires. Fuente: Isdefe [[15]]**

El suministro eléctrico se dará tanto a un buque como a otro, pero nunca a los dos de forma simultánea, por lo tanto, la potencia máxima de suministro es de 1.600kW.

### 7.4.1 Características del muelle

El muelle Paraires tiene una longitud de 363 metros y un calado de 10-12 m, orientación suroeste-noreste. La superestructura mide 3m de ancho y en esta se encuentran los bolardos y una galería de servicios de 1,20m X 1,8m, por dicha galería pasan todas las instalaciones y se han hecho reformas para futuras ampliaciones.

Los buques que normalmente atracan en este muelle son el Eleanor Roosevelt de Balearia, ferries de Tramed y cruceros. Los buques con rampa para la carga-descarga de vehículos dispones de tacones en los extremos del muelle. [Anexo 7]

#### 7.4.2 Descripción instalaciones.

El sistema eléctrico del que se abastece el muelle Paraires parte de una acometida en media tensión (MT) desde el Centro de Maniobra y Medida (CMM) Nº14383 Torre de Paraires, desde el CMM mediante una sola línea se provee a los centros de transformación (CT): [Anexo 6]

- **CT-9 bis:** Ubicado en el muelle Paraires, estación marítima 3, se alimenta de una línea en media tensión (MT) desde el CMM Torre Paraires, este CT está conectado con el resto de centros de transformación mediante una línea en MT. Se compone de un transformador de 630 kVA y 3 celdas de MT de 400A, este centro abastece a la estación marítima 3.
- **CT-9:** Ubicado en el muelle Paraires, estación marítima 2, se alimenta de una línea en media tensión (MT) desde CT-9bis, éste CT está conectado con el resto de centros de transformación mediante una línea en MT. Se compone de un transformador de 1.000 kVA y 3 celdas de MT de 400A, este centro abastece la estación marítima 2 y a las pasarelas existentes.

La normativa específica a seguir es:

- IEC/ISO/IEEE 8005-1: "Utility connections in ports – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements"
- IEC PAS 80005-3: "Utility connections in port – Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems – General requirements"

Tal y como recomienda la normativa para alto voltaje, el suministro para un buque ferry convencional se realizará a 11kV, se dispone de un transformador para adaptar la frecuencia de la red eléctrica del puerto (50Hz) según las necesidades del buque 50-60Hz. De igual modo se dispone de un transformador-reductor para convertir la tensión de la red del puerto de 15kV a 11kV.

El muelle en cuestión cuenta con dos puntos de conexión a buque, una en media tensión (MT) y otra en baja tensión (BT):

- La conexión en media tensión (MT) se sitúa en el atraque noreste del muelle, se suministra con una potencia máxima de demanda de 1.600kW (2.000kVA) a 11kV de tensión nominal, frecuencia de 50 o 60Hz y se compone por dos conectores trifásicos de 335A cada uno, integran tres fases, tierra y tres cables piloto para comunicaciones. [Anexo 8]

- La conexión en baja tensión (BT) se sitúa en el atraque suroeste del muelle, se suministra con una potencia máxima de demanda de 800kW (1000kVA) a 400 V de tensión nominal, frecuencia de 50Hz y se compone de cinco conectores trifásicos de 335 A cada uno, integran tres fases, tierra y cuatro cables piloto para comunicaciones. [Anexo 9]

Tal y como se muestra en el Anexo 6 el sistema Cold Ironing en el muelle Paraires cuenta con un trazado que parte desde CT-18113 hasta la subestación SET OPS la cual dispone de convertidores de frecuencia que se realiza en baja tensión a 0,4kV y que póstumamente se adapta con una transformación 0,4/11kV a una frecuencia de 50/60Hz, desde la subestación SET OPS salen las líneas hacia los puntos de conexión o cuadro de tomas ubicados en los atraques, estos cuadros cumplen con lo establecido en la norma IEC 62613-1 y IEC 62613-2.

La línea subterránea de media tensión que va desde el centro de distribución CT-18113 al centro de mando y medida CMM-14383 es de 15kV a 50Hz y tiene una longitud de 275m. El siguiente tramo que va de CMM-14383 a CT-OPS es de 15kV a 50Hz y tiene una longitud de 235m.

La interconexión entre el CT-OPS y SET-OPS es subterránea y tiene una tensión de 400V a 50Hz.

Desde el SET-OPS parte una línea en media tensión (MT) hacia el punto de conexión al buque o la grúa gestora del cableado (actualmente no están disponibles), la línea tiene una tensión de 11kV a 60Hz y la longitud máxima es de 389m. Del mismo modo desde el SET-OPS parte una línea de baja tensión (BT) hacia el punto de conexión al buque que tiene una tensión de 400V y frecuencia de 50Hz.

### 7.4.3 Sistema de seguridad y control

El sistema de seguridad y control estará formado básicamente por:

- Un controlador lógico programable
- Pantallas de visualización
- Conexión de telecomunicación externa

Este sistema gestiona la totalidad de la red eléctrica de suministro a buques, disponiendo de un panel de control con acceso a todos los parámetros necesarios y gestión remota.

El sistema de Cold Ironing en el muelle Paraires dispone una parada de emergencia para la desconexión automática, disparando los interruptores automáticos que protegen el sistema de gestión del cable.

## 7.5 Rentabilidad muelle Paraires

El proyecto llevado a cabo en el muelle Paraires ha supuesto una inversión de entorno a los 2 millones de euros, la unión europea a través de los Fondos Europeos CEF y OPS Master Plan ha financiado el 20% del proyecto, del mismo modo que financia la instalación del sistema en los buques con un 20%.

Concepto	Precio (€)
Obra Civil	91.629,60
Nueva extensión Red de Media Tensión	104.165,34
Líneas Eléctricas	141.369,82
Centro de Seccionamiento, Medida y Transformación	203.735,41
Edificio de Transformación y Central de Conversión	717.902,40
Líneas Eléctricas de Baja tensión	63.017,15
Sistemas de Gestión del Cable	98.400,56
Gestión de Residuos	8.008,20
Seguridad y Salud	35.156,23
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>1.463.384,71</b>
Gastos Generales 13%	190.240,01
Beneficio Industrial 6%	87.803,08
<b>TOTAL PPTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>1.741.427,80</b>
I.V.A.21%	365.699,84
<b>TOTAL PPTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>2.107.127,64</b>

**Tabla 18 Presupuesto del proyecto Cold Ironing muelle Paraires. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares [[15]]**

Para que el proyecto Cold Ironing en un puerto tenga rentabilidad se tienen en cuenta factores como el precio de combustible, precio de la generación y comercialización de la electricidad, los factores de emisión y el porcentaje de ocupación de los muelles.

Este análisis se realiza teniendo como principales consumidores del suministro eléctrico a las navieras que frecuentan los muelles.

Como se ha mencionado en apartados anteriores el costo de inversión para una naviera es de entorno los 330.000€ para un ferry convencional, aunque la mayoría de buques que utilizan el atraque están preparados para el suministro. Supondremos que para el análisis los buques que atraquen están listos para el suministro.

La naviera se puede acoger a bonificaciones como la tasa portuaria T-1 la cual se aplican a buques que utilicen gas natural licuado o electricidad durante su estancia en puerto. La bonificación se aplica con un coeficiente del 0,5 y se aplican a buques que utilicen gas natural tanto en puerto como en navegación, del mismo modo se bonifica a los buques que utilicen electricidad suministrada desde el muelle para el abastecimiento energético del buque. [[9]]

Por lo tanto, un ferry convencional obtiene un ahorro anual de entorno 98.280€ mientras que el fast ferry obtiene un ahorro de entorno 143.465€ anuales. [Anexo 16]

La tasa de ocupación media del muelle Paraires es del 25% y se ha calculado realizando una media de buques atracados en el mismo durante un mes. [Anexo 17]

El precio del MDO en España se ha encarecido llegando a los 1.200€/ton y el de la electricidad alrededor de 0,204€/kW. [Anexo 17] Este hecho hace que el coste de generación de kWh en un buque es de 0,18€/kWh utilizando MDO. [[3]]

El consumo anual eléctrico de los buques es de 1.882.000 kWh [Anexo 18], mediante el sistema Cold ironing supondría un gasto de 383.928€ mientras por los motores auxiliares sería de 363.263€. Si comparamos el coste anual obtenemos los siguientes valores.

Motores auxiliares	Cold Ironing
372.215€	355.759€

**Tabla 19 Comparación del coste anual de los sistemas energéticos en puerto. Fuente: Propia**

Además de los costes de los sistemas tenemos que el factor contaminante también genera unos costes que derivan en la salud y actividades de las personas próximas al recinto portuario. El coste que generan los motores auxiliares es de 86.910,84€ mientras que el suministro desde la red eléctrica supone un costo de 25.928,68€. [Anexo 18]

Sumando todos los costes anuales obtenemos que los motores auxiliares tienen un gasto de anual de 468.525,50€ mientras que el sistema OPS el gasto es de 381.687,64€. [Anexo 19]

Implantar el sistema Cold Ironing supondría un ahorro de 86.837,86€ anuales.

## 7.6 Estudio de ampliación al resto de dársenas

Actualmente está en estudio la ampliación del sistema OPS en los distintos puntos del puerto por ello se realizará un análisis de cada dársena y la viabilidad de la instalación de este sistema en el puerto. Asimismo, el estudio se centrará en los buques con más consumo eléctrico en puerto que son ferries y cruceros.

Teniendo en cuenta una duración media de 15 horas para un crucero y para un ferry lo descrito en la Tabla 12 se calculan las horas aproximadas durante un año. Para el cálculo de atraques en un año se ha tenido en cuenta que un ferri recalca en el puerto seis veces por semana mientras que para los cruceros se ha tenido en cuenta una media de 500 cruceros anuales repartidos en los 4 atraques habituales que utilizan.



El suministro eléctrico a los buques se realizará en media y alta tensión. Debido a la gran demanda eléctrica que supondrá, se deberá remodelar el sistema eléctrico de abastecimiento al puerto.

Para la estimación del coste de la instalación se ha tenido en cuenta el presupuesto base de licitación del muelle Paraires.

### 7.6.1 Muelles Dique del Oeste

Los muelles del dique del oeste lo componen ocho atraques, en este estudio nos centraremos en cuatro de estos atraques que son los que tienen una media de ocupación razonable para llevar a cabo el sistema de Cold Ironing, los buques que utilizan estos atraques son ferries de la compañía Balearia y Cruceros.

Cuando se realizó la ampliación de muelles en la plataforma se hizo una preinstalación para un posible trazado eléctrico para el suministro eléctrico a buques.

Buque	Muelle	Atraques en un año	Horas en un año
Abel Matutes	1ª Al. Dique del Oeste	310	1860
Hypatia de Alejandría	Al. Oeste Plataforma	310	1782,5
Sicilia	2ª Al. Dique del Oeste	310	1395
Crucero	Al.Norte Plataforma	125	1875

**Tabla 20 Atraques y horas realizadas según muelle y buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares**

Para la alimentación de los cuatro puntos de conexión, se requerirá de un centro de distribución autorizado por ENDESA SL, este punto se ubicará entre Portopí y Dique del Oeste, desde este punto partirá una línea de media tensión 15kV a 50Hz hacia un centro de transformación (CT) a 15/0,4kV a 50Hz, mediante una línea de media tensión llegara a la subestación eléctrica que funcionara a 0,4/11kV a 50 o 60 Hz, finalmente partirá la línea hacia los cuadros de tomas como se representa en la Figura 24.



**Figura 24 Ubicación de los puntos de conexión y línea eléctrica Fuente: Google Earth**

Teniendo en cuenta los costes de electricidad y MDO mencionados en capítulos anteriores se realiza un cálculo de rentabilidad anexo en [A1.17], donde observamos la rentabilidad del sistema teniendo en cuenta los factores de cada buque. Los beneficios son de 856.662,37€ anuales utilizando el sistema Cold Ironing.

### 7.6.2 Muelles Poniente

Los muelles de Poniente los componen siete atraques, en este estudio nos centraremos en cinco de estos atraques, los buques asiduos a estos atraques son de la compañía GNV y distintos cruceros.

Buque	Muelle	Atraques en un año	Horas en un año
GNV Bridge	Ampliación Poniente Norte	310	1860
Excellent	2º Al. Poniente Norte	310	1782,5
Crucero	2º Al. Poniente Sur	125	1875
Crucero	1º Al. Poniente Sur	125	1875

**Tabla 21 Atraques y horas realizadas según muelle y buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares**

En los muelles de Poniente se ha decidido instalar 5 puntos de conexión debido a que los buques van alternando los 5 atraques, durante todo el año son habituales los ferries mientras que los cruceros frecuentan en temporada estival.

Para la alimentación de los cinco puntos de conexión, se utilizará el trazado y canalización existente que procede del muelle Paraires, desde allí partirá una línea de media tensión 15kV a 50Hz hacia un centro de transformación (CT) a 15/0,4kV a 50Hz, mediante una línea de media

tensión llegará a la subestación eléctrica que funcionará a 0,4/11kV a 50 o 60 Hz, finalmente partirá la línea hacia los cuadros de tomas como se representa en la Figura 25.



**Figura 25 Ubicación de los puntos de conexión y línea eléctrica Fuente: Google Earth**

Teniendo en cuenta los costes de electricidad y MDO mencionados en capítulos anteriores se realiza un cálculo de rentabilidad anexo en [A1.18], donde observamos la rentabilidad del sistema teniendo en cuenta los factores de cada buque. Los beneficios son de 194.532,48€ anuales utilizando el sistema Cold Ironing.

### 7.6.3 Muelles Comerciales

Los muelles comerciales suelen ocupar los tres buques de la compañía Tramed GLE y habitualmente para fines comerciales se utilizan los tres muelles, los demás están reservados para remolcadores y embarcaciones del estado.

Buque	Muelle	Atraques en un año	Horas en un año
Ciudad de Palma	Testero	310	1860
Ciudad de Alcudia	1er Tramo ext.	310	1782,5
Gubal Trader	Adosado	104	572
Ciudad de Granda	Adosado	156	858

**Tabla 22 Horas de atraque según muelle y buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares**

Los buques Gubal Trader y Ciudad de Granada hacen escala en el puerto de Palma 2 y 3 veces por semana respectivamente, de ahí las pocas escalas respecto los demás buques que recalán 6 veces por semana.

Para la alimentación de los tres puntos de conexión, se requerirá de un centro de distribución autorizado por ENDESA SL, este punto estará ubicado en la zona de muelles comerciales-catedral, desde este punto partirá una línea de media tensión 15kV a 50Hz hacia un centro de transformación (CT) a 15/0,4kV a 50Hz, mediante una línea de media tensión llegará a la

subestación eléctrica que funcionara a 0,4/11kV a 50 o 60 Hz, finalmente partirá la línea hacia los cuadros de tomas como se representa en la Figura 26.



Figura 26 Ubicación de los puntos de conexión y línea eléctrica Fuente: Google Earth

Teniendo en cuenta los costes de electricidad y MDO mencionados en capítulos anteriores se realiza un cálculo de rentabilidad anexo en [A1.19], donde observamos que no es rentable el sistema teniendo en cuenta los factores de cada buque. Las pérdidas son de 89.809,39 € anuales utilizando el sistema Cold Ironing. Como se observa en el cálculo realizado esto se debe principalmente por la inversión que supone adaptar cuatro buques para el sistema.

#### 7.6.4 Análisis de rentabilidad para cada muelle

La implementación de este sistema supone una importante inversión para la autoridad portuaria y para las navieras que no dispongan de una adaptación en sus buques.

Para este análisis se han tenido en cuenta los datos reflejados en Rentabilidad muelle Paraires, estos datos son:

- Precio de combustible
- Precio del kWh
- Tomas en los muelles
- Buques que van a utilizar las instalaciones
- Demanda eléctrica
- Horas de atraque y escalas en un año
- Bonificación por el uso de electricidad
- Inversión del sistema OPS y adaptación del buque

Como podemos observar la rentabilidad en cada caso es diferente y dependerá de los buques que recalen y sus necesidades energéticas durante su estancia. Sería viable la instalación del sistema Cold Ironing en los muelles de poniente y Dique del Oeste, lo cual reduciría notablemente las emisiones generadas por los buques en temporada alta de cruceros. En muelles comerciales suelen atracar únicamente ferris por lo cual no es tan prioritario como los otros dos muelles.

Muelles	Motores auxiliares	Cold Ironig/OPS	Diferencia
Dique del Oeste	6.550.463,34€	5.693.800,97€	856.662,37€
Poniente	5.397.716,76€	5.203.184,28€	194.532,48€
Muelles Comerciales	927.173,19€	1.016.982,58€	-89.809,39 €
<b>TOTAL</b>	<b>12.875.353,29</b>	<b>11.913.967,83</b>	<b>961.385,46</b>

**Tabla 23 Coste de las diferentes tecnologías Fuente: Propia**

Según los cálculos estimados en los anexos [A1.17], [A1.18] y [A1.19] podemos observar la cantidad de emisiones que estaríamos ahorrando con la implementación de un sistema con conexión a tierra, esto repercute en beneficios sociales.

Muelles	CO2 (t)	SOx (t)	NOx (t)	PM (t)
Dique del Oeste	11.122,33	16,10	173,61	-2,38
Poniente	9.150,89	13,25	142,84	-1,96
M.M.C.C.	1.496,35	2,17	23,36	-0,32

**Tabla 24 Reducción de emisiones según muelles. Fuente: Propia**

Como se estudió en el capítulo de Problemática ambiental las variables de las emisiones provocadas en la generación eléctrica por la red nacional son inferiores a las generadas por los buques además las centrales de generación suelen estar alejadas de las zonas pobladas y por lo tanto no afectan en gran medida a la salud.



## 8 Conclusiones

El sistema OPS o Cold Ironing ha demostrado ser una alternativa eficaz para la reducción de emisiones en puerto y prueba de ello son las inversiones por parte de la unión europea y de los estados miembros, Estado Unidos también esta implementado cada vez más esta tecnología en sus puertos. A nivel nacional tanto el gobierno como Puertos del Estado están intentado implementar esta tecnología gradualmente en los puertos más relevantes del país como Barcelona, Valencia o Algeciras entre otros, actualmente existen nueve puertos españoles con posibilidad de suministro eléctrico y Puertos del Estado se ha marcado el objetivo de que en 2030 la mayoría de puerto españoles dispongan de esta tecnología.

Debido al incremento de emisiones en los últimos años en ciertas zonas del océano, la OMI tomo medidas para intentar reducir las emisiones en aquellas zonas más afectadas, el resultado fue la creación de zonas ECA donde los buques deben utilizar combustibles con un bajo contenido en azufre. Desde las organizaciones ecologistas europeas se está intentando implementar esta zona en el mar mediterráneo lo cual reduciría la cantidad de emisiones en este mar.

Desde la Autoridad Portuaria de Baleares conjuntamente con la Universidad de les Illes Balears se ha implementado una red de sensores por los distintos puntos del puerto con el objetivo de medir las variables causantes de la contaminación ambiental y sonora. Los datos arrojados muestran como durante las primeras horas del día las variables contaminantes empeoran, pero sin llegar a ser un peligro para la salud, con la realización de la primera conexión eléctrica a un buque realizado al “Eleanor Roosevelt” en el muelle Paraires se observaron datos buenos en comparación con los motores auxiliares. La introducción de este sistema reduciría notablemente las emisiones en puerto mejorando la calidad del aire en los recintos portuarios y poblaciones cercanas, además puede llegar a ser más rentable que el uso de los motores auxiliares.

Las alternativas para reducir las emisiones son muy variadas pero las más utilizadas al menos en la zona del mediterráneo son el gas natural licuado (GNL) o el uso de scrubbers. Los usos de estas alternativas no reducen notablemente las emisiones y durante su estancia en puerto continúan contaminando. En cuanto al GNL, este dispone del mismo coeficiente reductor sobre la tasa T-1 que el Cold Ironing por lo tanto para las compañías puede ser una alternativa rentable cuando los precios se estabilicen, ya que con la subida del precio del gas las compañías han dejado de consumir el gas para volver al fuel.

Utilizando este sistema se mejoraría notablemente las condiciones de trabajo en puerto, la figura del ETO (Electrónico o electricista a bordo) se encargaría de la operativa de conexión eléctrica que se coordinaría juntamente con el departamento de máquinas. Si existe una buena operativa tanto en tierra como en el buque la conexión se realizaría rápidamente. Durante la maniobra de atraque del buque, éste utiliza tanto los motores principales como los auxiliares, una vez firme de cabos, con la rampa en tierra (si es el caso) y con la pasarela o finger conectados se procede a apagar los motores principales, dejando a si únicamente los auxiliares funcionando, si la operativa es eficaz el tiempo que están los auxiliares encendidos es breve.

Se ha realizado un análisis de rentabilidad sobre el sistema OPS en el muelle Paraires, el cual ya dispone del sistema de suministro eléctrico a buques, se ha tenido en cuenta que habitualmente los atraque son utilizados por un fast ferry un ferry convencional arrojando datos buenos sobre la viabilidad del sistema.

En cuanto al análisis y cálculos sobre la posible ampliación de puntos de conexión al resto de dársenas, dos de las tres zonas dan valores rentables que son los muelles de Poniente y dique del Oeste. Hay que tener en cuenta que la ampliación supondría una mejora notable en la calidad del aire y ruido en la ciudad de Palma sobre todo en época de verano, donde en un día suelen coincidir hasta cuatro cruceros, con un consumo eléctrico descomunal cosa que hay que tener en cuenta a la hora de suministrar y si la compañía distribuidora en este caso ENDESA tiene la capacidad de dar suministro a estos buques que en ciertos casos llegan a consumir hasta 12.000 Kwh, doce veces más que un ferry.

Tanto navieras como la autoridad portuaria de baleares están a favor de implementar este sistema a todo el puerto, actualmente se está estudiando la posibilidad de ampliar el sistema Cold Ironing a muelles comerciales, muelles de Poniente y dique del Oeste. Con este proyecto el puerto de Palma reduciría considerablemente las emisiones contaminantes y la generación de ruido, dándole a la ciudad un futuro más limpio y con menos ruido.

Por lo tanto, los beneficios de implementar el sistema son:

- Reducción notable de contaminación acústica y vibraciones.
- Reducción total de algunas partículas como SOx.
- Electrificación de buques y terminales portuarias.
- Descarbonización de terminales.
- Ahorro en combustible.

Las barreras que impiden la implantación del sistema Cold Ironing son principalmente la necesidad de adaptar los buques que en algunos casos es muy costoso, depender de una sola compañía de suministro eléctrico en puerto, nuevas infraestructuras eléctricas en puertos para adaptarlos a la gran demanda eléctrica, el coste eléctrico del kWh y la poca utilización de los puntos de conexión.





## 9 Bibliografía y referencias

- [1] Puertos del Estado. Guía de Gestión Energética en Puertos. [En línea] 2013. [Consulta el: 02 de marzo de 2022.] Disponible en: [http://www.puertos.es/eses/Documents/guia\\_gestion\\_energetica\\_puertos\\_firmada.pdf](http://www.puertos.es/eses/Documents/guia_gestion_energetica_puertos_firmada.pdf)
- [2] TARIQ, A. Onshore Power Supply Gaining Popularity in European Ports. Power Technology Research [en línea] 2021. [Consulta: 10 de marzo 2022]. Disponible en: <https://powertechresearch.com/onshore-power-supply-gaining-popularity-in-european-ports/>.
- [3] BOE.es - BOE-A-2015-4218 Real Decreto 290/2015, de 17 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, se regula el uso de determinados biocarburantes y el contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. boe.es [en línea], 2015. [Consulta: 22 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-4218>.
- [4] HERRERA, J.D., 2020. Cold Ironing en Canarias. Universidad de La Laguna [en línea]. [Consulta: 19 abril 2022]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20836>.
- [5] MIGUEL PARDO BUSTILLO and VICENTE IBORRA URIOS, 2022. Puerto del Futuro. IME [en línea], [Consulta: 12 de abril 2022]. Disponible en: [https://www.cambramallorca.com/documentos/Desp\\_334.pdf](https://www.cambramallorca.com/documentos/Desp_334.pdf).
- [6] Sistema eléctrico balear. Red Eléctrica de España [en línea]. [Consulta: 23 abril 2022]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-balear>.
- [7] AJUNTAMENT DE PALMA, 2014. ORDENANZA MUNICIPAL REGULADORA DEL RUIDO Y LAS VIBRACIONES.
- [8] UIB, 2016. INFORME TÉCNICO PARA LA IMPLANTACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LA RED DE SENSORES SmartSensPORT-PALMA [en línea]. [Consulta: 10 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.portsdebalears.com/sites/default/files/REDSensPORTPALMAp\\_0.pdf](https://www.portsdebalears.com/sites/default/files/REDSensPORTPALMAp_0.pdf).
- [9] PUERTOS DEL ESTADO, 2016. Tasa Del Buque [en línea]. 2016.. [Consulta: 17 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/2016/12/Tasa-Buque-2016.pdf>.
- [10] BALEARIA, 2019. La UE subvenciona el 50% de un proyecto de Baleària para monitorizar consumo de combustible y emisiones de los buques en tiempo real. [en línea]. [Consulta: 17 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.balearia.com/es/sala-prensa/notas-prensa/ue-subvenciona-50-proyecto-balearia-monitorizar-consumo-combustible-emisiones-buques-tiempo-real>.
- [11] Guía de Gestión Energética en Puertos. Puertos del Estado. [En línea] 2013.

- [Consulta el: 20 de mayo de 2020.]  
[http://www.puertos.es/eses/Documents/guia\\_gestion\\_energetica\\_puertos\\_firmada.pdf](http://www.puertos.es/eses/Documents/guia_gestion_energetica_puertos_firmada.pdf)
- [12] Poweratberth. OPS Master Plan for Spanish Ports. [En línea] [Consulta el: 08 de mayo de 2022.] [http://poweratberth.eu/?page\\_id=40&lang=es](http://poweratberth.eu/?page_id=40&lang=es).
- [13] Fazlagic, Patrik Ericsson & Ismir. Shore-Side Power Suply. A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infraestructure to supply vessels with electric power in port. [En línea] 2008. [Consulta el: 10 de mayo de 2022.] <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174062/174062.pdf>.
- [14] Cueva, Julio de la. Medidas para la dotación de suministro eléctrico a buques en los puertos de interés general. <http://poweratberth.eu>. [En línea] 10 de 2016. [Consulta: 10 de mayo 2022]. Disponible en: [http://poweratberth.eu/?page\\_id=208&lang=es](http://poweratberth.eu/?page_id=208&lang=es).
- [15] ISDEFE Y AUTORIDAD PORTUARIA BALEARES, 2019. *PROYECTO INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA EN EL PUERTO DE PALMA PARA LA CONEXIÓN ELÉCTRICA DE LOS BUQUES A TIERRA* [en línea]. [Consulta: 10 mayo 2022]. Disponible en: <https://seu.portsdebalears.gob.es/contratae/licitacion/licitaciones/detalle?id=195748>.
- [16] Monge, S. Blanco. Estudio de Viabilidad del Proyecto de Suministro Eléctrico a buques en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife, 2014.
- [17] REData - Mercados. Red Eléctrica de España [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/mercados>.
- [18] SEAPLACE SL. OPS PARA ROPAX EN EL PUERTO DE VALENCIA [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 mayo 2022]. Disponible en: <http://poweratberth.eu/wp-content/uploads/2021/02/Anexo-Caso-OPS-para-ro-pax-en-Valencia.pdf>

# Anexo

## A1.1. Coste económico del TFG

El coste económico que supone la realización de este trabajo se calculara a continuación, teniendo en cuenta las fases del proyecto y el precio por hora.

FASES DEL PROYECTO	TIEMPO
Definir tema y contenidos	4 h
Estructuración de ideas	3 h
Búsqueda y recopilación de información	25 h
Trabajo de campo	15 h
Estado del arte	25 h
Normativa y estándares	25 h
Problemática ambiental	40 h
Alternativas para la reducción de emisiones	35 h
Cold Ironing como alternativa	50 h
Cold Ironing en el puerto de Palma	175 h
Introducción y conclusiones	5 h
Bibliografía, referencias y anexos	15 h
Puesta a punto	3 h
<b>TOTAL</b>	<b>420 h</b>

### Anexo 1 Fuente: Propia

Una vez definido el tema y los contenidos del trabajo se comenzó a estructurar las ideas que se querían tratar en el mismo. Se comenzó una búsqueda exhaustiva para obtener la información acerca de cada capítulo que compone el trabajo.

El trabajo de campo resulta de un embarque realizado de 4 meses de duración en el cual se obtuvieron datos relevantes para el trabajo y de una visita a la autoridad portuaria de baleares donde se consiguieron datos, planos e información sobre el sistema OPS en el puerto de Palma.

En primer lugar, se realizó el estado del arte donde se explica el sistema Cold Ironing / OPS y se contextualiza dentro del marco internacional. El Cold Ironing sigue una serie de pautas que se recoge en el capítulo de normativa y estándares. A continuación, se estudia la problemática ambiental que supone tener los motores auxiliares de los buques encendido durante su estancia en puerto, se recogen una serie de alternativas en los siguientes capítulos para finalmente estudiar el caso del Cold Ironing en el puerto de Palma.

En la introducción se intenta poner en contexto la idea del trabajo y los temas a tratar y para finalizar una conclusión donde se refleja los más relevante del trabajo y de los resultados del análisis realizado.

La dedicación total del trabajo es de unas 420 horas aproximadas teniendo en cuenta un precio estimado por hora de 50€, el valor del trabajo es de 21.000€

## A1.2. Listado de instalaciones de suministro eléctrico a buques.

															02/02/2022 11:30		
Promotor	Puerto	Terminal	Flota a suministrar				Disponibilidad										
			Ferris ro-ro...	Container	Cruceros	Otros	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029		
AP	Algeciras	APM		√							√						
AP	Algeciras	TTI		√							√						
AP	Algeciras	La Galera: atraques 7 & 8	√								√						
AP	Tarifa	Tanger: atraques 2 & 3	√								√						
AP	Alicante	Terminales 11, 13, 15 y 17	√	√			√				√						
AP	Almería	Muelle nº 6	√					√									
AP	Barcelona	BEST		√							√						
AP	Barcelona	San Beltrán	√								√						
AP	Bilbao	Espigón Central	√								√						
AP	Bilbao	Contenedores		√							√						
AP	Bilbao	Cruceros				√					√						
Privado	Cádiz	Alfonso XIII-Reina Sofía-Ciudad				√								√			
Privado	Castellón	Costa Sur						√			√						
AP	Motril	Pasajeros	√					√									
Privado	Pasaia	Capuchinos	√								√						
AP	Sevilla	El Centenario	√								√						
Privado	Valencia	MSC		√							√						
Privado	Valencia	Pasajeros	√			√								√			
AP	Palma de Mallorca	Paraires	√					√									
Privado	Ibiza		√								√						
Privado	Formentera		√								√						
AP	Las Palmas	Antiguo Muelle de la Pesca						√									
AP	Las Palmas	Muelle Grande						√			√						
AP	Sta. Cruz La Palma	Adosado dique	√					√									
AP	SS Gomera	Adosado dique	√					√									
AP	Sta. Cruz Tenerife	Pasajeros	√					√									
AP	Sta. Cruz Tenerife	Pantalán	√					√									
AP	Melilla	Sur	√								√						
AP	Melilla	Pasajeros	√					√									

Anexo 2. Fuente: Poweratberth.eu

## A1.3. Características de las dársenas puerto de Palma

PUERTO DE PALMA PORT OF PALMA	LONG. LENGTH (m)	CALADO DEPTH (m)	ANCHO WIDTH (m)	EMPLEOS USES
<b>EN DÁRSENAS COMERCIALES IN COMMERCIAL BASINS</b>				
1er tramo ext. Muelles Comerciales	220,00	11,00	87,00	Ro-Ro
Testero Muelles Comerciales	200,00	10,00-9,00	103,00	Ro-Ro
Prolongación Muelle Adosado	176,00	9,00-8,00	103,00	Ro-Ro
Muelle Adosado	107,00	8,00	103,00	Ro-Ro
Rama Corta del Norte (ext.)	130,00	8,00	30,00	Ro-Ro
Rama Corta del Norte (testero)	60,00	7,00	30,00	Varios Various
Rama Corta del Norte (int.)	130,00	7,00	30,00	Ro-Ro
Prolongación Muelle Nuevo	151,00	7,00	103,00	Varios y remolcadores Various & tugs
Espigón Consigna (ext.)	66,00	7,00	45,00	Reparación embarcaciones Boat repair
Espigón Consigna (testero)	35,00	5,00	10,00	Reparación embarcaciones Boat repair
Espigón Consigna (int.)	95,00	5,00	10,00	Reparación embarcaciones Boat repair
Muelle de La Lonja (1er. tramo)	111,00	3,00	0,00	Tráfico local y servicio Local traffic & services
Ampliación Muelle Poniente (ángulo)	35,00	6,00	30,00	Ferrys Ferries
Ampliación Muelle Poniente (paramento Norte) con duques de alba	275,80	10,00-6,00	65,00	Ferrys/Cruceros Turísticos Ferries and cruise liners
Ampliación Muelle Poniente (paramento Este)	99,00	9,00	37,80	Ferrys/Varios Ferries/Sundry
1ª Alineación Muelle Poniente Norte	300,00	12,00-8,50	35,00-8,40	Ferrys/Cruceros Turísticos Ferries and cruise liners
2ª Alineación Muelle Poniente Norte	360,00	12,00-8,50	-	Ferrys/Cruceros Turísticos Ferries and cruise liners
1ª Alineación Muelle Poniente Sur	440,00	12,00-8,01	35,00-8,41	Ferrys/Cruceros Turísticos Ferries and cruise liners
2ª Alineación Muelle Poniente Sur	370,00	12,00-8,01	-	Ferrys/Cruceros Turísticos Ferries and cruise liners
Muelle Poniente (testero)	30,00	12,00-8,02	35,00-8,42	Varios Various
Muelle de Paraires	363,00	12,00-10,00	50,00	Ferrys/Cruceros Turísticos/Fast Ferrys Ferries/Cruise liners/Fast ferries
Muelle de Ribera en San Carlos	250,00	12,00	60,00	Graneleros/Convencional/Ro-Ro Cargo/Conventional/Ro-Ro
Dique del Oeste 1ª alineación	360,00	12,00	30,00	Ferrys/Cruceros Turísticos Ferries and cruise liners
Alineación Oeste Plataforma adosada al D. Oeste	130,00	12,00	-	Ferrys/Convencional Ferries/Conventional
Alineación Oeste Plataforma adosada al D. Oeste con Duque de Alba	198,00	12,00	-	Ferrys/Convencional Ferries/Conventional
Alineación Norte Plataforma adosada al D. Oeste	285,00	12,00	-	Ro-Ro/Cruceros/Ferrys Ro-Ro/Ferries and cruise liners
Alineación Este Plataforma adosada al D. Oeste	155,00	12,00	-	Ferrys/Convencional Ferries/Conventional
Dique del Oeste 2ª alineación	440,00	12,00	30,00	Graneleros/Ro-Ro/Petroleros/Cruceros/Convencionales Bulk/Ro-Ro/Cruise liners and conventional cargo

Anexo 3 Fuente:puertos.es

## A1.4. Características motores auxiliares ferry habitual al puerto de Palma

DIESEL GENERATOR N 1	DIESEL GENERATOR N 2	DIESEL GENERATOR N 3
CATERPILLAR	CATERPILLAR	CATERPILLAR
ENG Mod : 3516	ENG Mod : 3516	ENG Mod : 3516
SERIAL N 2FW00289	SERIAL N 2FW00291	SERIAL N 2FW00292
ALTERNATOR N° 1	ALTERNATOR N° 2	ALTERNATOR N° 3
KV A : 2180	KV A : 2180	KV A : 2180
Kw : 1285	Kw : 1285	Kw : 1285
COS : 0,8	COS : 0,8	COS : 0,8
Hz : 60	Hz : 60	Hz : 60
RPM : 1200	RPM : 1200	RPM : 1200
WIRE : 6	WIRE : 6	WIRE : 6
ENERG. : 22V 5,6A	ENERG. : 22V 5,6A	ENERG. : 22V 5,6 A
VOLT : 440	VOLT : 440	VOLT : 440
AMPERE 2060	AMPERE 2060	AMPERE 2060

Anexo 4 Fuente: CATERPILLAR

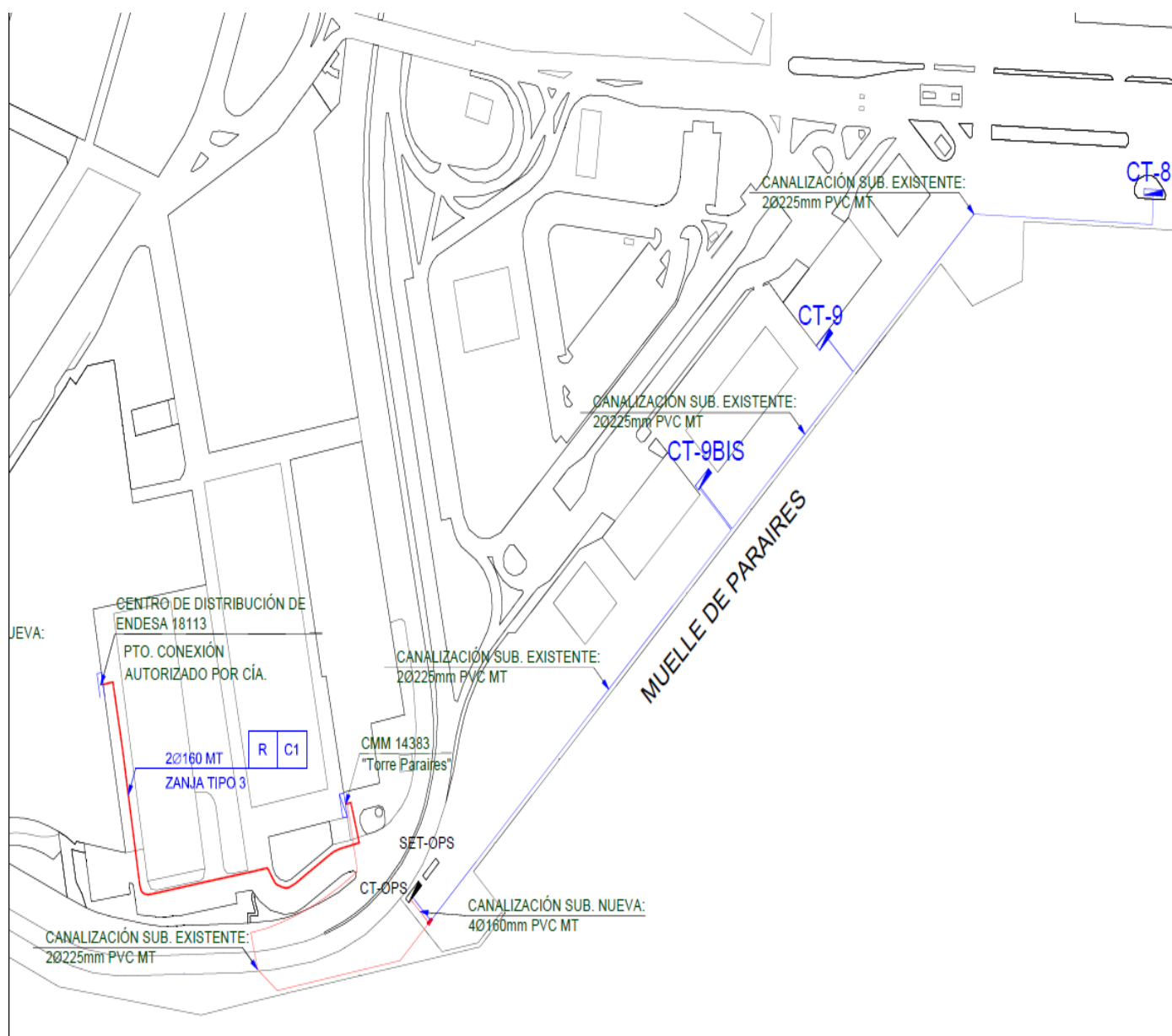


## A1.5. Panel de conexión a tierra en un ferry



Anexo 5 Fuente: Propia

## A1.6. Plano muelle Paraires. canalización y distribución eléctrica



Anexo 6 Fuente: Portsdebalears [[15]]

## A1.7. Conexión al fast ferry Eleanor Roosevelt



Anexo 7 Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares

## A1.8. Punto de conexión media tensión (MT)



Anexo 8 Fuente: Propia



## A1.9. Punto de conexión en baja tensión (BT)



Anexo 9 Fuente: Propia



## A1.11. Distribución de los motores auxiliares y generadores



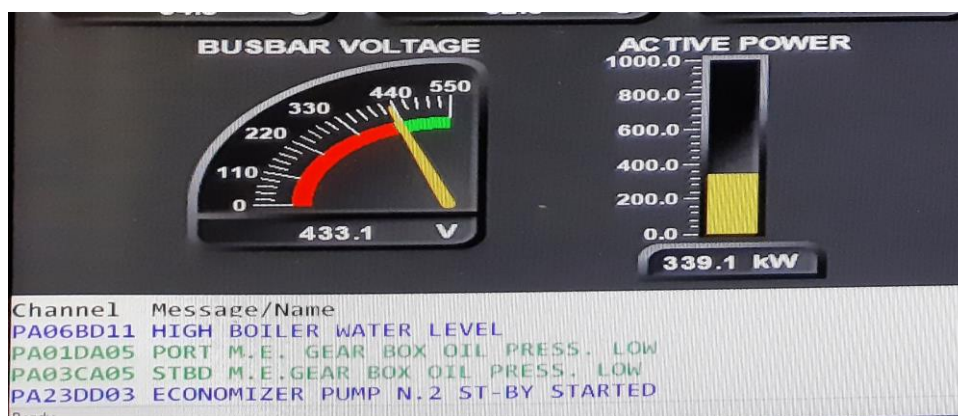
Anexo 11 Fuente: Propia

## A1.12. Consumo en puerto motor auxiliar 1



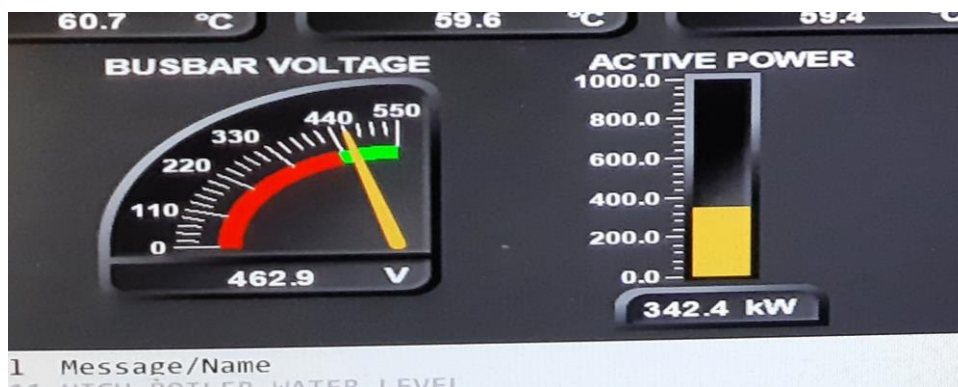
Anexo 12 Fuente: Propia

## A1.13. Consumo en puerto motor auxiliar 2



Anexo 13 Fuente: Propia

## A1.14. Consumo en puerto motor auxiliar 3



Anexo 14 Fuente: Propia



## A1.15. Informe de control diario

VESSEL: SICILIA DAY (dd/mm/yyyy): 26/01/2022 \* from 00:00h to 23:59h

DAILY CONTROL REPORT					
	LNG (MT)	VLS (MT)	DMA (M3)	TYPE	
MMEE N°1	0	22.3	0.46	Operational incidence	The Main
MMEE N°2	0	22.5	0.49	Operational incidence	The Main
				* Choose Incidence Type	
	LNG (MT)	VLS (MT)	DMA (M3)		
CONSUMPTION DDGG			4.1	Diesel generators are constructed for dies	
	TYPE	AVG.POWER	% of the time	hours	
DG N°1	DMA	500	25.0%	6	Diesel generators are constructed for dies
DG N°2	DMA	500	50.0%	12	Diesel generators are constructed for dies
DG N°3	DMA	500	45.8%	11	Diesel generators are constructed for dies
DG N°4	-				
* Choose Fuel Type					
	ON/OFF	% of the time	hours		R
SHAFT GEN N°1	On	58.5%	14.05		
SHAFT GEN N°2	On	58.5%	14.05		
	LNG (MWh)	VLS (MWh)	DMA (MWh)		
TOTAL MWh/day	0	551	64		
	0%	90%	10%		
	615 MWh				

Anexo 15. Fuente: Propia

## A1.16. Cálculos de rentabilidad muelle Paraires

### A1.16.1. Estimación de bonificación uso Cold Ironing

Estimación bonificación legal del 50 % (artículo de la vigente Ley de Puertos)								
	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coefficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 (€)	Bonificación (€)
FERRY CONVENCIONAL	21.000	210	5	1,30	0,5	288	196.560	98.280
	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coefficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 (€)	Bonificación (€)
FAST FERRY	12.262	122,62	10	1,30	0,5	360	286.931	143.465

Anexo 16 Fuente:Poweratberth.eu

## A1.16.2. Ocupación media en el muelle

### Datos del proyecto

PROYECTO	
Puerto	PALMA DE MALLORCA
Muelle/s	Paraire
Buque/s	Trasmed, Balearia

DATOS		
Tomas eléctricas en muelle	2	ud
Buques	2	ud
Potencia auxiliares	800	kW
Escalas por buque	288	ud
Conexión media en atraque	8	h
Tiempo conexión a red	4320	horas
Ocupación instalación	25	%

Anexo 17 Fuente: Poweratberth

### A1.16.3. Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing

Anexo de cálculos	Fuel	OPS		Fuel	OPS
<b>Inversión en muelle</b>			<b>Polución emisiones a la atmósfera</b>		
Transformación de tensión			Estimación cantidades	Fuel (tons)	OPS (tons)
Convertidor de frecuencia			CO2	1.315,41	515,37
Control, protección, cableado, etc.			SOx	2,10	0,94
Obra civil			NOx	13,68	1,20
Equipo manipulación manguera eléctrica			PM	0,32	0,49
Inversión total		2.107.127,64	Estimación del coste externo	Fuel (Euros)	OPS (Euros)
Inversión subvencionada		1.685.702,11	CO2	6.577,03	2.576,83
Coste anual inversión		229.032,90	SOx	11.761,75	5.274,87
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		33.714,04	NOx	60.213,51	5.266,59
Gasto anual en el muelle		262.746,95	PM	8.358,56	12.810,40
			<b>Suma cont atm</b>	86.910,84	25.928,68
<b>Inversión en buques</b>			<b>Contaminación sonora</b>		
Transformador			Población afectada	1.000	personas
Panel de control			Reducción de ruido en db(A)	1	dB-A
Cableado			<b>Suma cont sonora</b>	9.400	0
LVS modificación y sincronización					
Otros					
Inversión total		-			
Inversión subvencionada		-			
Coste anual inversión (6 % en 10 años)		-			
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		-			
Gasto anual de buques		-			
<b>Combustible</b>					
	gr/kWh	kW			
Consumo & potencia (medios)	180	800			
	Ton	KWh			
Consumo anual de combustible	339	1.882.000			
Gasto anual de combustible	363.455	383.928			
<b>Desgaste de motores</b>					
Gasto de motores por hora	1,6				
Desgaste anual	8.760				
<b>Bonificación en gastos estadía a buques</b>		-290.916			
<b>Suma operacional</b>	372.215	355.759			

Anexo 18 Fuente: Poweratberth

## A1.16.4. Simulación de resultados

Hipótesis y resultados de la simulación				
HIPÓTESIS			RESULTADOS	
			Fuel	OPS
			Euros	Euros
<b>Perspectiva de la simulación</b>	F			2.107.127,64
F = Financiera				
E = Socio-económica				
<b>Subvención pública</b>			<b>Euros</b>	<b>Euros</b>
Cofinanciación inversión muelle	20	%	468.525,50	381.687,68
Cofinanciación adaptación buques	20	%	372.214,65	355.759,00
Bonificación T-1 a buques	- 290.916	€	86.910,84	25.928,68
			9.400,00	-
<b>Competitividad combustibles fósiles vs electricidad</b>	A		<b>Tons</b>	<b>kWh</b>
A = Igual que la actual			339	1.882.000
B = Peor a la actual (+1 % fuel +0,5 % kWh)				
C = Empeora mucho (+3 % fuel +1 % kWh)				
<b>Nivel de coste externo CO2</b>	10	€/tonn	<b>Reducción contaminación</b>	<b>Tons</b>
10 = Bajo ( proyectos de corto plazo)			CO2	800,04
25 = Medio			SOx	1,16
100 = Alto ( perspectivas a largo plazo)			NOx	12,49
			PM	- 0,17
<b>Densidad de la población</b>	B			
B = Baja				
M = Media				
A = Alta				
<b>Alcance evaluación impacto de emisiones</b>	WTW			
TTW = Local o 'tank to wheel'				
WTW = Integral o 'weel to wheel'				

Anexo 19. Fuente: Poweratberth

## A1.17. Cálculos de rentabilidad muelles Dique del Oeste

### A1.17.1. Ocupación media en el muelle

#### Datos del proyecto

PROYECTO	
Puerto	Palma de Mallorca
Muelle/s	Dique del Oeste
Buque/s	Balearia/Cruceros

DATOS		
Tomas eléctricas en muelle	4	ud
Buques	4	ud
Potencia media auxiliares	3100	kW
Escalas por buque	263,75	ud
Conexión media en atraque	8	h
Tiempo conexión a red	8440	horas
Ocupación instalación	24	%

Anexo 20 Fuente: Poweratberth

## A1.17.2. Estimación de bonificación uso Cold Ironing

Estimación bonificación legal del 50 % (artículo de la vigente Ley de Puertos)								
	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coeficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 (€)	Bonificación (€)
Ferry Balearia	30.000	300	5	1,30	0,5	263,75	257.156	128.578
	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coeficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 (€)	Bonificación (€)
Crucero	235.600	2356	10	1,30	0,5	125	1.914.250	957.125

Anexo 21 Fuente: Poweratberth

### A1.17.3. Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing

Anexo de cálculos	Fuel	OPS		Fuel	OPS
<b>Inversión en muelle</b>			<b>Polución emisiones a la atmósfera</b>		
Transformación de tensión			Estimación cantidades	Fuel (tons)	OPS (tons)
Convertidor de frecuencia			CO2	18.287,07	7.164,73
Control, protección, cableado, etc.			SOx	29,20	13,10
Obra civil			NOx	190,25	16,64
Equipo manipulación manguera eléctrica			PM	4,47	6,85
Inversión total		4.000.000,00	Estimación del coste externo	Fuel (Euros)	OPS (Euros)
Inversión subvencionada		3.200.000,00	CO2	91.435,33	35.823,67
Coste anual inversión		434.777,47	SOx	163.514,53	73.332,46
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		64.000,00	NOx	837.102,11	73.217,34
Gasto anual en el muelle		498.777,47	PM	116.202,70	178.093,12
			<b>Suma cont atm</b>	<b>1.208.254,67</b>	<b>360.466,58</b>
<b>Inversión en buques</b>			<b>Contaminación sonora</b>		
Transformador			Población afectada	5.000	personas
Panel de control			Reducción de ruido en db(A)	1	dB-A
Cableado			<b>Suma cont sonora</b>	<b>47.000</b>	<b>0</b>
LVS modificación y sincronización					
Otros					
Inversión total		990.000,00			
Inversión subvencionada		792.000,00			
Coste anual inversión (6 % en 10 años)		107.607,42			
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		15.840,00			
Gasto anual de buques		123.447,42			
<b>Combustible</b>					
Consumo & potencia (medios)	gr/kWh	kW			
	180	3.100			
	Ton	KWh			
Consumo anual de combustible	4.710	26.164.000			
Gasto anual de combustible	5.281.705	5.225.422			
<b>Desgaste de motores</b>					
Gasto de motores por hora	1,6				
Desgaste anual	13.504				
<b>Bonificación en gastos estadía a buques</b>		- 960.050			
<b>Suma operacional</b>	5.295.209	4.887.597			

Anexo 22 Fuente: Poweratberth



## A1.17.4. Simulación de resultados

Hipótesis y resultados de la simulación					
HIPÓTESIS			RESULTADOS		
<b>Perspectiva de la simulación</b>	F			<b>Fuel</b>	<b>OPS</b>
F = Financiera					<b>Euros</b>
E = Socio-económica					4.990.000,00
<b>Subvención pública</b>				<b>Euros</b>	<b>Euros</b>
Cofinanciación inversión muelle	20	%	<b>Coste</b>	6.550.463,34	5.693.800,97
Cofinanciación adaptación buques	20	%	Operacional	5.295.208,67	5.333.334,39
Bonificación T-1 a buques	- 514.313	€	Emisiones	1.208.254,67	360.466,58
			Ruido	47.000,00	-
<b>Competitividad combustibles fósiles vs electricidad</b>	B			<b>Tons</b>	<b>kWh</b>
A = Igual que la actual			<b>Consumo OPS</b>	4.710	26.164.000
B = Peor a la actual (+1 % fuel +0,5 % kWh)			<b>Reducción contaminación</b>		<b>Tons</b>
C = Empeora mucho (+3 % fuel +1 % kWh)			CO2		11.122,33
<b>Nivel de coste externo CO2</b>	25	€/tonn	SOx		16,10
10 = Bajo ( proyectos de corto plazo)			NOx		173,61
25 = Medio			PM		- 2,38
100 = Alto ( perspectivas a largo plazo)					
<b>Densidad de la población</b>	M				
B = Baja					
M = Media					
A = Alta					
<b>Alcance evaluación impacto de emisiones</b>	WTW				
TTW = Local o 'tank to wheel'					
WTW = Integral o 'weel to wheel'					

Anexo 23 Fuente: Poweratberth

## A1.18. Cálculos de rentabilidad muelles de Poniente

### A1.18.1. Ocupación media en el muelle

#### Datos del proyecto

PROYECTO	
Puerto	Palma de Mallorca
Muelle/s	Poniente
Buque/s	GNV/Cruceros

DATOS		
Tomas eléctricas en muelle	5	ud
Buques	4	ud
Potencia auxiliares	3100	kW
Escalas por buque	217	ud
Conexión media en atraque	8	h
Tiempo conexión a red	6944	horas
Ocupación instalación	16	%

Anexo 24 Fuente: Poweratberth

## A1.18.2. Estimación de bonificación uso Cold Ironing

Estimación bonificación legal del 50 % (artículo de la vigente Ley de Puertos)								
	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coeficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 (€)	Bonificación (€)
Ferry GNV	30.000	300	5	1,30	0,5	217	211.575	105.788
Crucero	235.600	2356	10	1,30	0,5	125	1.914.250	957.125

Anexo 25 Fuente: Poweratberth

### A1.18.3. Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing

Anexo de cálculos				
	Fuel	OPS	Fuel	OPS
<b>Inversión en muelle</b>				
Transformación de tensión				
Convertidor de frecuencia				
Control, protección, cableado, etc.				
Obra civil				
Equipo manipulación manguera eléctrica				
Inversión total		6.000.000,00		
Inversión subvencionada		4.800.000,00		
Coste anual inversión		652.166,20		
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		96.000,00		
Gasto anual en el muelle		748.166,20		
<b>Inversión en buques</b>				
Transformador				
Panel de control				
Cableado				
LVS modificación y sincronización				
Otros				
Inversión total		990.000,00		
Inversión subvencionada		792.000,00		
Coste anual inversión (6 % en 10 años)		107.607,42		
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		15.840,00		
Gasto anual de buques		123.447,42		
<b>Combustible</b>				
	gr/kWh	kW		
Consumo & potencia (medios)	180	3.100		
	Ton	KWh		
Consumo anual de combustible	3.875	21.526.400		
Gasto anual de combustible	4.345.516	4.458.147		
<b>Desgaste de motores</b>				
Gasto de motores por hora	1,6			
Desgaste anual	11.110			
<b>Bonificación en gastos estadía a buques</b>				
		- 423.150		
<b>Suma operacional</b>	4.356.627	4.906.611		
<b>Polución emisiones a la atmósfera</b>				
Estimación cantidades	Fuel (tons)	OPS (tons)		
CO2	15.045,66	5.894,78		
SOx	24,02	10,77		
NOx	156,53	13,69		
PM	3,68	5,64		
Estimación del coste externo	Fuel (Euros)	OPS (Euros)		
CO2	75.228,31	29.473,88		
SOx	134.531,39	60.334,19		
NOx	688.724,77	60.239,48		
PM	95.605,63	146.525,90		
<b>Suma cont atm</b>	994.090,10	296.573,45		
<b>Contaminación sonora</b>				
Población afectada	5.000	personas		
Reducción de ruido en db(A)	1	dB-A		
<b>Suma cont sonora</b>	47.000	0		

Anexo 26 Fuente: Poweratberth



## A1.19. Cálculos de rentabilidad muelles comerciales

### A1.19.1. Ocupación media en el muelle

#### Datos del proyecto

PROYECTO	
Puerto	Palma de Mallorca
Muelle/s	Muelles Comerciales
Buque/s	Trasmed GLE

DATOS		
Tomas eléctricas en muelle	3	ud
Buques	4	ud
Potencia auxiliares	800	kW
Escalas por buque	220	ud
Conexión media en atraque	5	h
Tiempo conexión a red	4400	horas
Ocupación instalación	17	%

Anexo 28 Fuente: Poweratberth

## A1.19.2. Estimación de bonificación uso Cold Ironing

Estimación bonificación legal del 50 % (artículo de la vigente Ley de Puertos)								
	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coeficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 (€)	Bonificación (€)
Ferry Tramed	25.000	250	5	1,30	0,5	220	178.750	89.375

Anexo 29 Fuente: Poweratberth

### A1.19.3. Cálculos sobre la rentabilidad del sistema Cold Ironing

Anexo de cálculos	Fuel	OPS		Fuel	OPS
<b>Inversión en muelle</b>					
Transformación de tensión					
Convertidor de frecuencia					
Control, protección, cableado, etc.					
Obra civil					
Equipo manipulación manguera eléctrica					
Inversión total		3.500.000,00			
Inversión subvencionada		2.800.000,00			
Coste anual inversión		380.430,28			
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		56.000,00			
Gasto anual en el muelle		436.430,28			
<b>Inversión en buques</b>					
Transformador					
Panel de control					
Cableado					
LVS modificación y sincronización					
Otros					
Inversión total		1.320.000,00			
Inversión subvencionada		1.056.000,00			
Coste anual inversión (6 % en 10 años)		143.476,56			
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		21.120,00			
Gasto anual de buques		164.596,56			
<b>Combustible</b>					
	gr/kWh		kW		
Consumo & potencia (medios)	180		800		
	Ton		KWh		
Consumo anual de combustible	634		3.520.000		
Gasto anual de combustible	710.579		724.960		
<b>Desgaste de motores</b>					
Gasto de motores por hora	1,6				
Desgaste anual	7.040				
<b>Bonificación en gastos estadía a buques</b>		-	357.500		
<b>Suma operacional</b>	717.619		968.487		
<b>Polución emisiones a la atmósfera</b>					
Estimación cantidades	Fuel (tons)		OPS (tons)		
CO2	2.460,27		963,91		
SOx	3,93		1,76		
NOx	25,60		2,24		
PM	0,60		0,92		
Estimación del coste externo	Fuel (Euros)		OPS (Euros)		
CO2	12.301,34		4.819,57		
SOx	21.998,59		9.865,86		
NOx	112.620,37		9.850,37		
PM	15.633,45		23.959,94		
<b>Suma cont atm</b>	162.553,75		48.495,73		
<b>Contaminación sonora</b>					
Población afectada	5.000	personas			
Reducción de ruido en db(A)	1	dB-A			
<b>Suma cont sonora</b>	47.000		0		

Anexo 30 Fuente: Poweratberth



## A1.19.4. Simulación de resultados

Hipótesis y resultados de la simulación		
<b>HIPÓTESIS</b>		
<b>Perspectiva de la simulación</b>	F	
F = Financiera		
E = Socio-económica		
<b>Subvención pública</b>		
Cofinanciación inversión muelle	20	%
Cofinanciación adaptación buques	20	%
Bonificación T-1 a buques	- 357.500	€
<b>Competitividad combustibles fósiles vs electricidad</b>	B	
A = Igual que la actual		
B = Peor a la actual (+1 % fuel +0,5 % kWh)		
C = Empeora mucho (+3 % fuel +1 % kWh)		
<b>Nivel de coste externo CO2</b>	25	€/tonn
10 = Bajo ( proyectos de corto plazo)		
25 = Medio		
100 = Alto ( perspectivas a largo plazo)		
<b>Densidad de la población</b>	M	
B = Baja		
M = Media		
A = Alta		
<b>Alcance evaluación impacto de emisiones</b>	WTW	
TTW = Local o 'tank to wheel'		
WTW = Integral o 'weel to wheel'		
<b>RESULTADOS</b>		
<b>Inversión</b>		<b>Euros</b>
		4.820.000,00
<b>Coste</b>		<b>Euros</b>
Operacional	927.173,19	1.016.982,58
Emisiones	717.619,44	968.486,85
Ruido	162.553,75	48.495,73
	47.000,00	-
<b>Consumo OPS</b>	<b>Tons</b>	<b>kWh</b>
	634	3.520.000
<b>Reducción contaminación</b>		<b>Tons</b>
CO2		1.496,35
SOx		2,17
NOx		23,36
PM		- 0,32

Anexo 31 Fuente: Poweratberth