OPS Master Plan
Spanish ports

Cofinanciado por el Mecanismo
«Conectar Europa» de la Unión Europea

2015-EU-TM-0417-S

MASTER PLAN FOR OPS IN SPANISH PORTS

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA IMPLANTACIÓN DE OPS A FERRIES EN EL PUERTO DE ALMERÍA

Puertos del Estado

Puerto de Almería
Autoridad Portuaria de Almería

inova labs
Agile Innovation

ÍNDICE

Lista de Figuras 4
Lista de Tablas 6
1. INTRODUCCIÓN 8
2. ALCANCE DEL ESTUDIO 9
3. ESCENARIO OBJETIVO EN EL PUERTO DE ALMERÍA 10
3.1. BUQUES OBJETIVO 10
3.2. MUELLE OBJETIVO 12
4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS 16
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA 17
4.2. SOLUCIÓN RECOMENDADA 19
4.2.1. Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh) 19
4.2.2. Voltaje y frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle 20
4.2.3. Potencia instalada necesaria para la instalación eléctrica en muelle 20
4.2.4. Factor de picos de demanda 21
4.2.5. Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en muelle 21
5. BENEFICIOS SOCIALES DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN OPS 23
5.1. ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES 24
5.2. REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO 25
6. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO 29
6.1. INVERSIÓN 29
6.1.1. Coste de la inversión en muelle 30
6.1.2. Coste de la inversión del sistema de manejo de cables 32
6.1.3. Coste de la inversión en los buques 32
6.2. GASTO OPERACIONAL 33
6.2.1. Gasto anual de suministro de energía eléctrica 34
6.2.2. Gasto anual para personal de operación 35
6.2.3. Gasto anual de mantenimiento 35

6.3. OTROS FACTORES E IMPACTOS ECONÓMICOS 35
6.3.1. Monetización de las emisiones 35
6.3.2. Bonificación de la tasa T-1 36
6.4. ESTUDIO DE RENTABILIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 38
6.4.1. Rentabilidad del sistema OPS sin financiaciones 39
6.4.2. Rentabilidad del sistema OPS con financiaciones 40
7. RESUMEN Y CONCLUSIONES 40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45
ANEXO 1. Análisis detallado del tráfico de buques en el Puerto de Almería. 46
ANEXO 2. Configuración de los componentes de una instalación OPS. 50
ANEXO 3. Rangos de afección en el Puerto de Almería. 58
ANEXO 4. Metodología para el cálculo de las emisiones. 59
ANEXO 5. Escenario alternativo para el estudio OPS en el Puerto de Almería. 62
ANEXO 6. Visita a las instalaciones del Puerto de Almería. 64

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques. 8
Figura 2. Vista aérea del Puerto de Almería. 10
Figura 3. Buques tipo Ro-Pax de Armas - Transmediterránea: Fortuny (izquierda) y Sorolla (derecha). 11
Figura 4. Ubicación para el nuevo sistema OPS a buques Ro-Pax en el Puerto de Almería. 13
Figura 5. Distribución de las rampas para el atraque de Ferrys en el Puerto de Almería. 14
Figura 6. Buque de Armas - Trasmediterránea atracado en la Rampa 5 del Puerto de Almería.15
Figura 7. Localización de la rampa A6 para el atraque de ferrys en el Puerto de Almería. 15
Figura 8. Distribución de la red de suministro a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería.. 17
Figura 9. Distribución horaria del buque Fortuny. 18
Figura 10. Distribución horaria del buque Sorolla. 18
Figura 11. Potencia media y máxima (kW) del buque Fortuny en el Puerto de Málaga. 19
Figura 12. Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle.... 22
Figura 13. Rangos de afección según distancia en el Puerto de Almería (Ver ANEXO 3) 24
Figura 14. Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS. 25
Figura 15. Visualización de las viviendas cercanas a la Rampa 6 de atraque de Ferrys. 26
Figura 16. Distancia desde la Rampa 6 hasta los edificios de viviendas en el Puerto de Almería. 26
Figura 17. Ficha descriptiva de las mediciones realizadas a buques tipo Ro-Pax. 28
Figura 18. Porcentaje de reducción de las emisiones (%) asociadas al nuevo sistema OPS..... 42
Figura 19. Distribución de los atraques por tipo de buque. 46
Figura 20. Distribución diaria de los atraques en el Puerto de Almería. 47
Figura 21. Componentes principales de una instalación OPS en puerto. 50
Figura 22. Localización del CT12 en la cercanía de las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería. 51
Figura 23. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal. 52
Figura 24. Ubicación estimada para el punto de contacto en la rampa A5 del Puerto de Almería. 54
Figura 25. Ubicación estimada para el punto de contacto en la rampa A6 del Puerto de Almería. 55
Figura 26. Medidas detalladas de la rampa A5 para el atraque de Ferrys en el Puerto de Almería. 56

Figura 27. Medidas detalladas de la Rampa 6 para el atraque de Ferrys en el Puerto de Almería. 56

Figura 28. Mapa detallado de las medidas para cada una de las rampas estudiadas en el Puerto de Almería. 57

Figura 29. Ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones de cada contaminante. 60

Lista de Tablas

Tabla 1. Datos técnicos de los buques Fortuny y Sorolla. 11
Tabla 2. Datos operacionales de los buques Fortuny y Sorolla. 12
Tabla 3. Demanda eléctrica anual de los buques Fortuny y Sorolla en el Puerto de Almería. ... 20
Tabla 4. Relación entre la demanda de potencia media y máxima. Fuente: /6/. 21
Tabla 5. Resultados y solución recomendada para suministro eléctrico a Ro-Pax en el Puerto de Almería. 23
Tabla 6. Reducción de emisiones asociada a la sustitución de los motores auxiliares por el sistema OPS. 24
Tabla 7. Mediciones de potencia sonora de los motores auxiliares y equipos de ventilación de los buques Ro-Pax. 27
Tabla 8. Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.... 29
Tabla 9. Comparativa de la inversión en muelle entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. 30
Tabla 10. Coste de la inversión en el muelle para implantación de OPS en el Puerto de Almería. 31
Tabla 11. Inversión estimada para los sistemas de manejo de cables. 32
Tabla 12. Costes de la inversión en los buques para su adaptación al nuevo sistema OPS. 33
Tabla 13. Comparativa de los gastos anuales entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. 34
Tabla 14. Gasto anual de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería. 34
Tabla 15. Gasto anual de mantenimiento para los motores auxiliares en el sistema actual. 35
Tabla 16. Monetización de las emisiones contaminantes del sistema actual y del nuevo sistema OPS. 36
Tabla 17. Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS. 37
Tabla 18. Comparativa económica con la monetización de las emisiones y la bonificación de la tasa T-1. 38
Tabla 19. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS sin financiaciones. 39
Tabla 20. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones. 40
Tabla 21. Resumen y conclusiones de los datos técnicos de la nueva instalación OPS. 41
Tabla 22. Reducción de emisiones asociadas al nuevo sistema OPS. 41
Tabla 23. Reducción de ruido asociado al nuevo sistema OPS. 42
Tabla 24. Cálculos económicos y comparativa entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. 43
Tabla 25. Análisis de rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS en el Puerto de Almería..... 44

Tabla 26. Datos básicos de los atraques por tipo de buque. 46
Tabla 27. Valores umbral para el filtrado de buques..... 48
Tabla 28. Buques de pasajeros que pasan el filtro. 48
Tabla 29. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Fuente: Poweratberth /9/. 59
Tabla 30. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE..... 61
Tabla 31. Demanda energética de los buques que atracan en las rampas A5 y A6. 63
Tabla 32. Reducción de emisiones de los buques que atracan en las rampas A5 y A6. 63

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto "*Masterplan for OPS in Spanish Ports*" tiene como objetivo la redacción de un Plan Director para el suministro de energía eléctrica a buques atracados en los puertos españoles. *OPS Masterplan for Spanish Ports* se integra en el Marco de Acción Nacional para el desarrollo de infraestructuras para el uso de combustibles alternativos en el sector del transporte, cumpliendo con el artículo 13 de la Directiva 2014/94/UE.

La iniciativa *OPS Master Plan for Spanish Ports* (2015-EU-TM-0417-S) tiene un presupuesto de 6 millones de euros y está cofinanciado con 1,5 millones de euros por el programa Conecting Europe Facility – CEF para la construcción de la RTE-T (Red Transeuropea de Transporte) de la Unión Europea.

El objetivo principal del proyecto es evaluar los beneficios y los costes asociados al uso de la energía eléctrica como fuente de suministro en los buques atracados en puerto, allanando el camino para el despliegue de esta tecnología antes de 2025.

La acción se esfuerza directamente en contribuir a la Directiva 2014/94/UE, relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos /1/ e, indirectamente, a otras directivas europeas, como por ejemplo la Directiva 2012/33/UE, sobre el contenido de Azufre de los combustibles marítimos y sobre la calidad del aire ambiente y un aire más limpio para Europa /2/, o el Reglamento (UE) 1316/2016, sobre la descarbonización del sector del transporte.

De esta manera, la acción propuesta cumple con las necesidades y objetivos propuestos y, por tanto, este proyecto está cualificado de gran interés para el TEN-T:

- ✓ Cumplimiento de la Directiva 2014/94/UE.
- ✓ Reducción de emisiones en puertos.
- ✓ Reducción de ruidos en puertos.
- ✓ Modernización y descarbonización de las infraestructuras de transporte de la UE.
- ✓ Eficiencia e independencia energética.

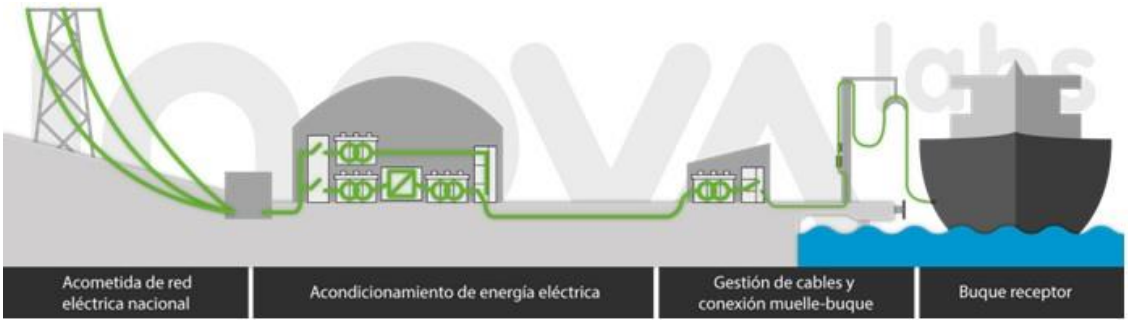


Figura 1. *Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques.*

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

Este estudio es parte del proyecto global "Masterplan for OPS in Spanish Ports". El presente informe se enmarca dentro de la subactividad 4.1, la cual conlleva la elaboración de varios estudios para preparar el despliegue de los sistemas OPS ("Detailed roll-out studies" según el AGREEMENT N.º INEA/CEF/TRAN/M2015/1128893), analizando características técnicas y económicas específicas para cada puerto español de la base RTE-T (Red Transeuropea de Transporte). Esta tarea se implementará en tres fases:

- ***Identificación de los muelles y buques para OPS***, en la cual se evaluarán las características principales de cada uno de los muelles de los puertos estudiados: análisis de los atraques más frecuentes, espacio disponible para la ubicación de los equipos, elevada demanda energética de los buques, etc. Una vez se evalúen cada uno de estos factores, se detectarán las ubicaciones más adecuadas y los buques idóneos para la implementación del nuevo sistema OPS/OGSP. Los lugares y buques seleccionados estarán debidamente justificados por sus correspondientes estudios de viabilidad.
- ***Estudios técnicos detallados para cada muelle seleccionado para la implementación de OPS,*** que incluirá el diseño de los equipos necesarios para el nuevo sistema OPS/OGSP y la definición de los parámetros y requisitos fundamentales para llevar a cabo la instalación: caracterización de la demanda energética de los buques, voltaje y frecuencia de suministro, potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle y factor de picos de la demanda. En base a esto se han evaluado los beneficios sociales derivados de la implementación del sistema OPS/OSGP: reducción de las emisiones y del impacto acústico.
- ***Estimación detallada del desglose de costes*** para la implementación de cada instalación de OPS/OGSP, la cual incluye la inversión del sistema y los gastos anuales asociados. Una vez realizados estos cálculos, se han analizado los principales factores e impactos económicos, tales como la monetización de las emisiones y la bonificación del 50% de la tasa T-1, así como se ha evaluado la rentabilidad del sistema con y sin este tipo de financiaciones.

De esta manera y según el AGREEMENT N.º INEA/CEF/TRAN/M2015/1128893, la actividad 4.1 es un trabajo preparatorio para la actividad 4.2, el desarrollo del Masterplan para OPS en puertos españoles para 2025.

3. ESCENARIO OBJETIVO EN EL PUERTO DE ALMERÍA

En el Puerto de Almería se han analizado los buques con potencialidad de implementación del sistema OPS, así como los muelles con disponibilidad de espacio y características idóneas para llevar a cabo la instalación. A continuación se definen tanto los buques como el muelle objetivo en el presente estudio.

Figura 2. *Vista aérea del Puerto de Almería.*

En los meses de octubre de 2017 y enero de 2018 el equipo de Inova Labs ha realizado dos visitas a las instalaciones del Puerto de Almería. Durante estas visitas ha sido posible analizar de primera mano sus características principales, lo cual ha resultado muy útil para evaluar la situación actual del puerto y valorar su posible suministro eléctrico mediante una instalación OPS. En el

ANEXO 6. Visita a las instalaciones del Puerto de Almería. se han incluido algunas de las fotografías tomadas durante estas visitas.

3.1. BUQUES OBJETIVO

Una vez llevado a cabo el análisis específico de las estancias que realizan cada una de las tipologías de buque en el Puerto de Almería, se ha obtenido que los buques de pasajeros son el tráfico predominante, ya que presentan el mayor número de atraques y de horas en puerto.

Finalmente, este estudio se ha centrado en el análisis de los dos buques tipo Ro-Pax que hacen la ruta regular entre Almería y Melilla: *Fortuny* y *Sorolla* [1]. Se trata de buques gemelos que hacen rutas regulares y operados por la misma naviera (Armas-Transmediterránea).

En el ANEXO 1. Análisis detallado del tráfico de buques en el Puerto de Almería. se incluye un análisis detallado del tráfico de buques en puerto. Como resultado de este análisis se identificó a estos buques como objetivo en el estudio de implementación del nuevo sistema OPS.

Figura 3. *Buques tipo Ro-Pax de Armas - Transmediterránea: Fortuny (izquierda) y Sorolla (derecha).*

Las principales características técnicas de los buques seleccionados se indican en la Tabla 1.

[1] Los buques *Fortuny y Sorolla* seleccionados en el caso OPS para el Puerto de Málaga se trata de los mismos buques que los escogidos en el estudio OPS para el Puerto de Almería.

Tabla 1. *Datos técnicos de los buques Fortuny y Sorolla.*

NOMBRE DEL BUQUE	FORTUNY	SOROLLA
Tipo de buque	Ro-Pax	Ro-Pax
Número IMO	9.216.585	9.217.125
Año de construcción	2.001	2.001
Propietario	Acciona Transmediterránea	Acciona Transmediterránea
Eslora (m)	172	174
Gross Tonnage (GT)	26.916	26.916
Número de motores auxiliares	4 + 1 (Emergencia)	4 + 1 (Emergencia)
Potencia motor auxiliar (kW)	3x 1.620 kW + 1x 514 kW + 1x 250 kW	3x 1.620 kW + 1x 514 kW + 1x 250 kW
Frecuencia sistema eléctrico (Hz)	50	50
Tensión sistema eléctrico (V)	400	400
Factor de potencia estimado	0,8	0,8
Combustible utilizado en puerto	M.G.O	M.G.O

Por otro lado, se han analizado las estancias realizadas por los buques seleccionados en el Puerto de Almería en los últimos años, obteniendo el número total de atraques anual, las horas de duración de estas estancias en puerto y la duración media del atraque. Se trata de buques que realizan atraques semanales frecuentes: *Fortuny* atraca 1 día a la semana, mientras que *Sorolla* atraca 6 días por semana.

En la Tabla 2 se muestran estos datos operacionales, así como la demanda eléctrica anual, la estimación de la tasa T-1 del buque en puerto y la cantidad de MGO consumida en atraque.

Tabla 2. *Datos operacionales de los buques Fortuny y Sorolla.*

DATOS OPERACIONALES DE LOS BUQUES		
BUQUES A ADAPTAR	**FORTUNY**	**SOROLLA**
Número de atraques 2017	84	275
Horas totales en atraque 2017 (h)	240,90	979,92
Duración media del atraque (h)	2,87	3,56
Potencia eléctrica media en atraque (kW)	2.579,32	2.579,32
Demanda eléctrica anual a bordo (kWh)	621.366,79	2.527.518,66
Tasa T1 atraque en puerto	58.867,38 €	239.054,13 €
Cantidad de MGO consumida en atraque (Ton)	114,95	467,59

3.2. MUELLE OBJETIVO

En el Puerto de Almería, la ubicación adecuada para la implementación del nuevo sistema OPS son las Rampas A5 y A6, las cuales dan servicio a los buques tipo Ro-Pax/Ferry encargados de operar rutas que unen el Puerto de Almería con Melilla, como es el caso de los buques *Fortuny* y *Sorolla*, y otros buques como *Almariya*, *Vronskiy* y *Las Palmas de Gran Canaria* que conectan con el continente africano.

En la Figura 4 se muestra un mapa del Puerto de Almería, en el que se indica la zona de actuación definida.

Figura 4. *Ubicación para el nuevo sistema OPS a buques Ro-Pax en el Puerto de Almería.*

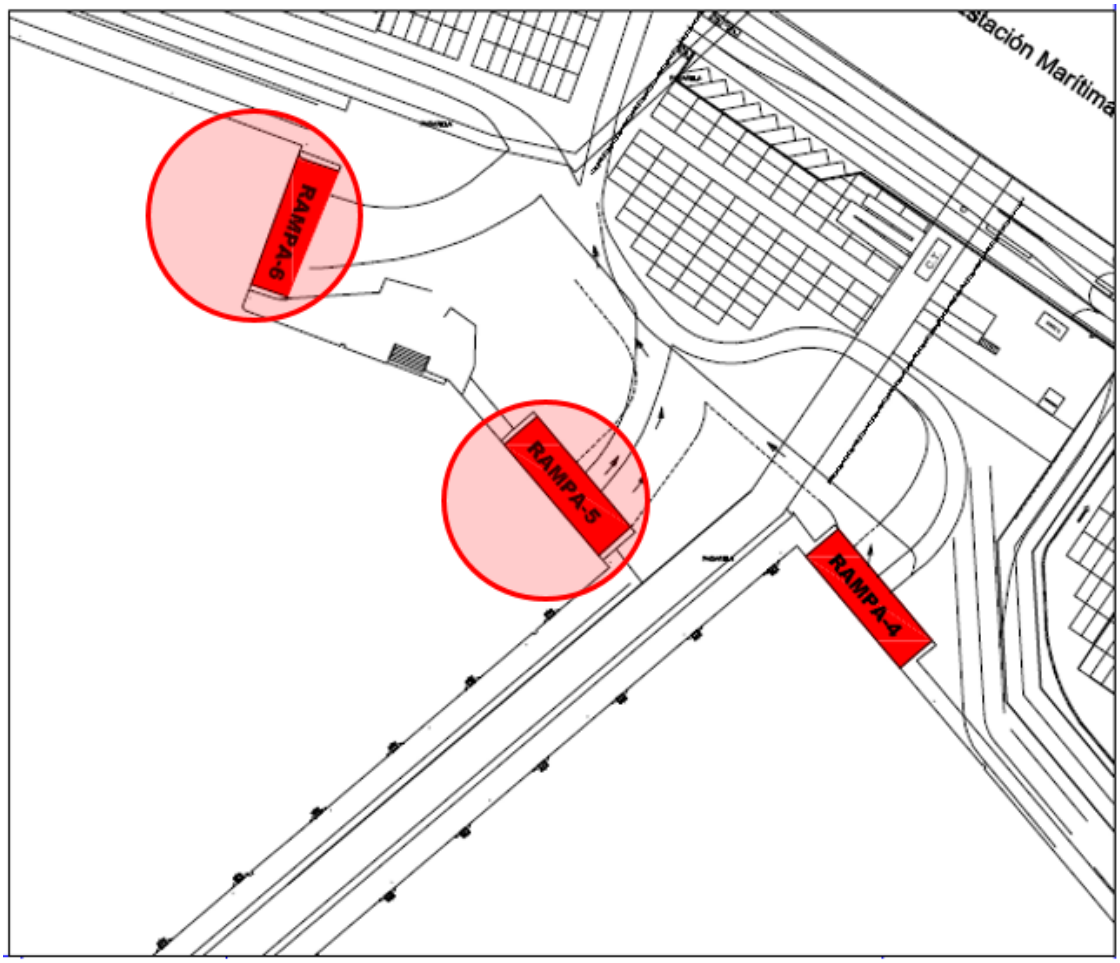


Figura 5. *Distribución de las rampas para el atraque de Ferrys en el Puerto de Almería.*

Las rampas 5 y 6 están destinadas al atraque de buques tipo Ro-Pax o Ferrys. La zona en la que se sitúan dispone de una estación marítima o terminal de pasajeros, un parking y una zona de preembarque para estos Ferrys, tal y como se indica en la Figura 5.

Tal y como se puede observar en los mapas e imágenes, las rampas A5 y A6 se encuentran a una distancia de 150 metros de las viviendas. Estos atraques se realizan en muchas ocasiones durante la noche, por lo que el ruido y las emisiones producidas por los motores auxiliares de estos buques ha derivado en quejas y denuncias por parte de la población que vive en las cercanías del puerto, lo que ha obligado a emplear durante la noche otros atraques disponibles de forma que esta rampa ha disminuido su utilización un 70%. Este factor ha sido decisivo también en la elección de este caso piloto OPS en el Puerto de Almería.

Durante la visita realizada a las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Almería se ha podido analizar la zona de actuación definida: las rampas 5 y 6 destinadas al atraque de buques tipo Ro-Pax o Ferrys. La primera de ellas con atraque a levante en el Pantalán Nº1 y la segunda con atraque de Ribera paralelo al paseo marítimo.

Figura 6. *Buque de Armas - Trasmediterránea atracado en la Rampa 5 del Puerto de Almería.*

Figura 7. *Localización de la rampa A6 para el atraque de ferrys en el Puerto de Almería.*

4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS

Uno de los aspectos a tener en cuenta en el estudio técnico para la implantación de un sistema de suministro eléctrico a buques desde el puerto es la disponibilidad de potencia eléctrica en el punto de suministro o acometida de conexión.

En el Puerto de Almería, el punto más cercano para la acometida de la empresa distribuidora es el ***Centro de Transformación situado en el edificio de la Estación Marítima (CT12).*** Sin embargo, este punto de conexión no dispone de la potencia suficiente para abastecer a los buques que atracan en las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería, por lo que sería necesario solicitar una ampliación de potencia de la red eléctrica. En febrero de 2019 se ha entregado una solicitud a la distribuidora de la región para llevar a cabo esta ampliación de potencia de la red. En los próximos capítulos se indica la potencia necesaria para llevar a cabo esa ampliación.

Una vez llevada a cabo la acometida de la red, sería necesario ubicar una nueva localización que albergue los equipos necesarios para acondicionar la energía eléctrica, desde la tensión disponible en la Estación Marítima hasta los 6,6 kV a los que se va a llevar a cabo el suministro. En este caso, se propone la instalación del sistema de suministro de forma compacta en el interior de un habitáculo donde se alojarán los equipos eléctricos necesarios para realizar el suministro de electricidad. Dicho habitáculo puede ser ubicado en la parte inferior de la pasarela fija existente en el muelle para el movimiento de pasajeros.

Finalmente, para llevar los cables de conexión desde el habitáculo para el acondicionamiento de la energía eléctrica hasta los buques atracados en las rampas A5 y A6, es necesario incluir dos sistemas de manejo de cables, uno para cada rampa.

La configuración final de la infraestructura de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería es la que se plantea en la Figura 8.

Figura 8. *Distribución de la red de suministro a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería.*

En el ANEXO 2. Configuración de los componentes de una instalación OPS. se especifican la configuración y el diseño de los componentes necesarios para llevar a cabo la instalación del sistema OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Los buques seleccionados *Fortuny* y *Sorolla* realizan escalas regulares a lo largo del año en el Puerto de Almería, por lo que para el cálculo de la demanda energética de los dos buques se han tenido en cuenta los datos de los atraques correspondientes al año 2017.

El buque ***Fortuny*** realiza habitualmente 1 atraque por semana en horario de 15:00 – 17:00 h y de 20:00 a 00:00 h, tal y como podemos ver en la Figura 9.

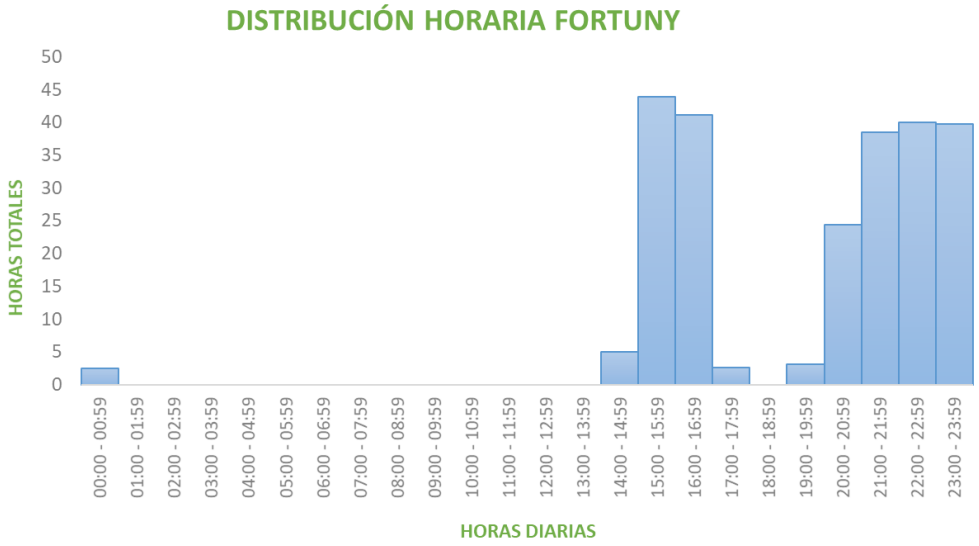


Figura 9. *Distribución horaria del buque Fortuny.*

Por otro lado, el buque ***Sorolla*** hace escala en el Puerto de Almería 6 días a la semana en horario de 20:00h a 00:00h. En la Figura 10 se muestra la distribución horaria correspondiente a este buque.

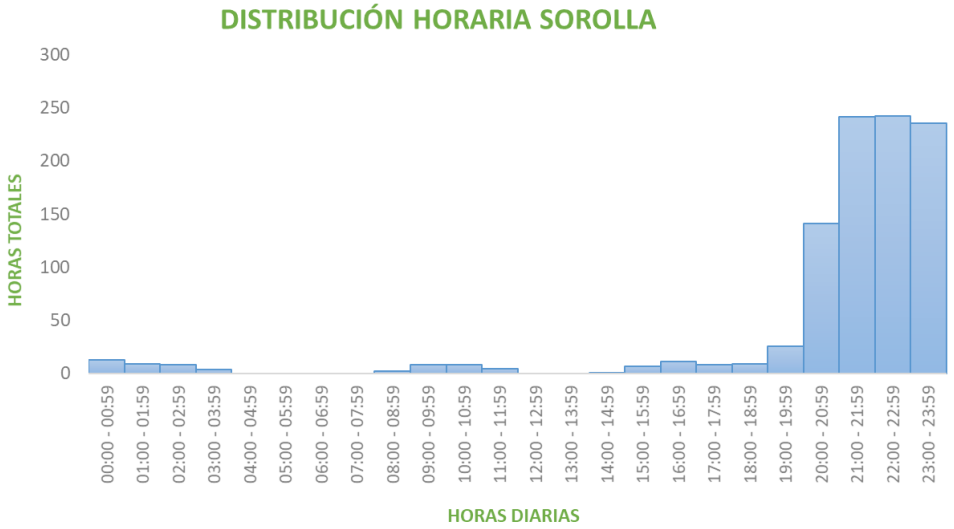


Figura 10. *Distribución horaria del buque Sorolla.*

De esta manera, para conocer la demanda energética correspondiente a los dos buques se han obtenido mediciones de la potencia consumida por uno de ellos. La Figura 11 muestra los datos correspondientes al consumo eléctrico medio y máximo (kW) medidos en el buque *Fortuny*, durante uno de sus periodos de atraque en el Puerto de Málaga (7:00-15:30 h).

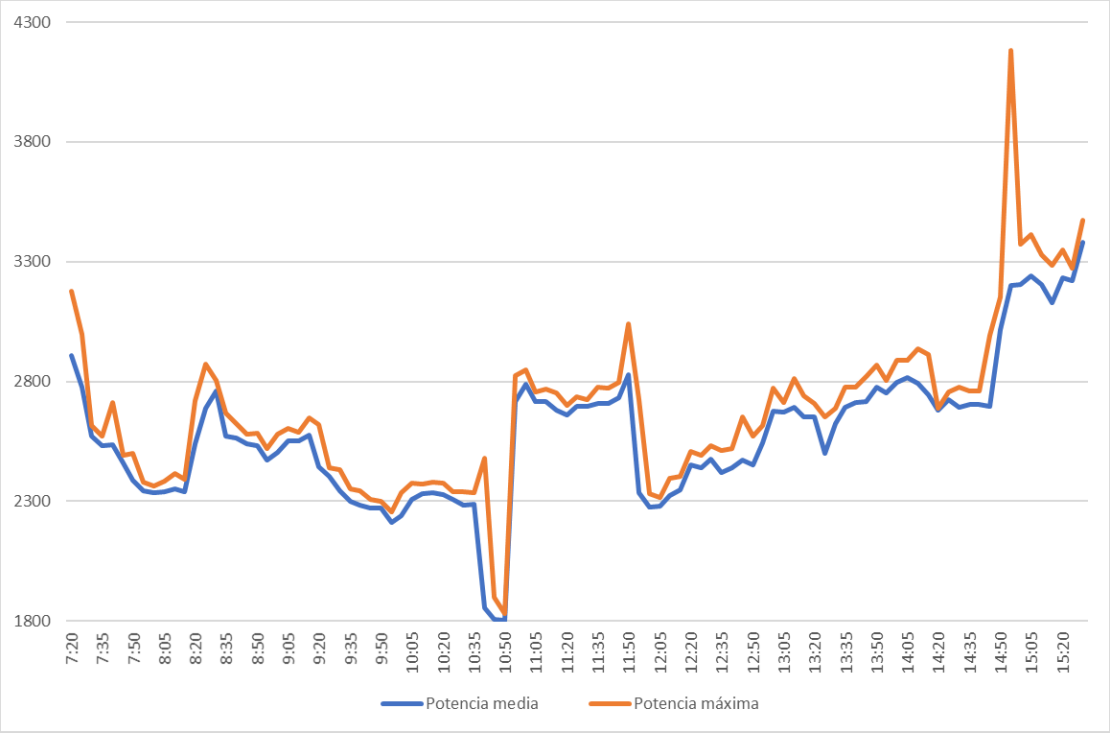


Figura 11. *Potencia media y máxima (kW) del buque Fortuny en el Puerto de Málaga.*

Según las mediciones realizadas en uno de los buques que podemos ver en la Figura 11, el mayor valor de potencia media se produce a las 15:30 h, mientras que el valor mínimo se produjo a las 10:50 h. Finalmente, se ha obtenido la potencia eléctrica media consumida por los buques en atraque (kW) con un valor igual a **2.579,32 kW**.

4.2. SOLUCIÓN RECOMENDADA

A continuación, se resumen las soluciones recomendadas para llevar a cabo la instalación del sistema OPS a los buques tipo Ro-Pax seleccionados en el Puerto de Almería, tales como: la demanda energética a lo largo del año, factor de picos de demanda, voltaje y frecuencia de suministro y potencia eléctrica necesaria para la instalación eléctrica en muelle.

4.2.1. Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh)

En la Figura 11 se ha obtenido la potencia eléctrica media según las mediciones realizadas a bordo de uno de los dos buques seleccionados. En función de este valor y las horas de atraque de los buques Fortuny y Sorolla en el Puerto de Almería se ha podido calcular la demanda anual de energía eléctrica, ya que se trata de buques que atracan regularmente y en los mismos horarios a lo largo del año.

Tabla 3. *Demanda eléctrica anual de los buques Fortuny y Sorolla en el Puerto de Almería.*

DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL (MWh)		
BUQUES	**FORTUNY**	**SOROLLA**
Horas anuales en atraques (h)	240,90	979,92
Potencia eléctrica media en atraque (kW)	2.579,32	2.579,32
Demanda eléctrica anual a bordo (MWh)	621,37	2.527,52
	3.148,89	**MWh**

En la Tabla 3 se muestran los valores de duración anual de los atraques, así como la potencia eléctrica media durante el atraque, obteniendo finalmente la demanda eléctrica anual a bordo de cada uno de los buques. De esta manera, los buques Fortuny y Sorolla presentan una demanda energética anual de **3.149 MWh**, siendo el mayor de ellos el buque *Fortuny*, con un valor igual a **2.579 MWh**, mientras que el buque *Sorolla* tiene una demanda anual de **621 MWh**.

4.2.2. Voltaje y frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle

Según la ***norma ISO 80005-1*** /3/**,** el suministro a buques debe ser realizado a 6,6 o 11 kV. De esta manera, teniendo en cuenta las demandas de energía eléctrica que se producen a lo largo de un año se recomienda el suministro a **6,6 kV**.

Por otro lado, la instalación debe ser capaz de suministrar a una frecuencia de **50 Hz**, ya que los buques seleccionados trabajan en este valor de frecuencia. Sin embargo, hay que destacar que el sistema de suministro eléctrico OPS en el Puerto de Almería está dimensionado de tal manera que se pueda realizar la conexión de buques con mayor potencial, por lo que se ha incluido la posibilidad de instalar un convertidor de frecuencia que permita tener disponibilidad de **60 Hz** de frecuencia en el punto de suministro.

4.2.3. Potencia instalada necesaria para la instalación eléctrica en muelle

La potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle se ha obtenido a partir de las mediciones realizadas a bordo de uno de los buques representadas en la Figura 11, de tal manera que la potencia media correspondiente tiene un valor igual a **2.579,32 kW**.

4.2.4. Factor de picos de demanda

Para calcular el factor de picos de la demanda, se ha analizado el siguiente estudio: *SHORE-SIDE POWER SUPPLY. A feasibility study and a technical solution for an onshore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port. CHALMERS /6/.*

En este informe se analiza la relación entre la demanda de potencia media y la demanda de potencia pico para cada uno de los tipos de buques, tal y como podemos ver en la Tabla 4.

Tabla 4. *Relación entre la demanda de potencia media y máxima. Fuente: /6/.*

	Average Power Demand	Peak Power Demand	Peak Power Demand for 95 % of the vessels
Container vessels (< 140 m)	170 kW	1 000 kW	800 kW
Container vessels (> 140 m)	1 200 kW	8 000 kW	5 000 kW
Container vessels (total)	800 kW	8 000 kW	4 000 kW
Ro/Ro- and Vehicle vessels	1 500 kW	2 000 kW	1 800 kW
Oil- and Product tankers	1 400 kW	2 700 kW	2 500 kW
Cruise ships (< 200 m)	4 100 kW	7 300 kW	6 700 kW
Cruise ships (> 200 m)	7 500 kW	11 000 kW	9 500 kW
Cruise ships (total)	5 800 kW	11 000 kW	7 300 kW

Según la tabla anterior y teniendo en cuenta que se trata de buques dedicados al transporte de vehículos y pasajeros, la demanda de potencia media es de 1.500 kW y la demanda de potencia máxima 2.000 kW. La relación de estas dos demandas da como resultado el factor de picos de demanda, que tiene un valor de **1,33**.

Finalmente, con este factor de picos de demanda y una demanda de potencia eléctrica en muelle de **2.579,32 kW**, obtenemos una demanda pico máxima de **3.430,5 kW**. Por lo tanto, es necesario disponer de equipos eléctricos con esa potencia disponible para llevar cabo el suministro eléctrico a los buques en puerto.

4.2.5. Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en muelle

El muelle de atraque de buques tipo Ro-Pax seleccionado no dispone de un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los buques planteados, por lo que es necesario instalar dos nuevos **Sistemas de Interconexión**.

Uno de ellos es el **Sistema de Interconexión Red de Media Tensión** con una tensión de 24 kV y 50 Hz de frecuencia del lado de Tierra y del lado del buque a tensión normalizada 6,6 kV (ISO 80005) a 60 Hz de frecuencia, comprendiendo los siguientes elementos:

- Aparamenta Media Tensión del lado de Tierra, con una tensión máxima de 36 kV y frecuencia 50 Hz.
- Aparamenta Media Tensión del lado del buque, con una tensión máxima de 12 kV y frecuencia 60 Hz.
- 2 convertidores de frecuencia electrónicos 50/60 Hz, con potencia máxima unitaria de 4,3 MVA. Integrados en 2 containers incluyendo sistema de refrigeración.
- 2 transformadores reductores, Tierra-Convertidor, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación en intemperie.
- 2 transformadores elevadores, Convertidor-Buque, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.
- Integración física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones en media tensión y control básico.

Por otro lado, es necesario establecer la conexión entre el Sistema de Interconexión Red de Media Tensión y la unión con la grúa que permite el manejo de cables, tal y como se ve en la Figura 12.

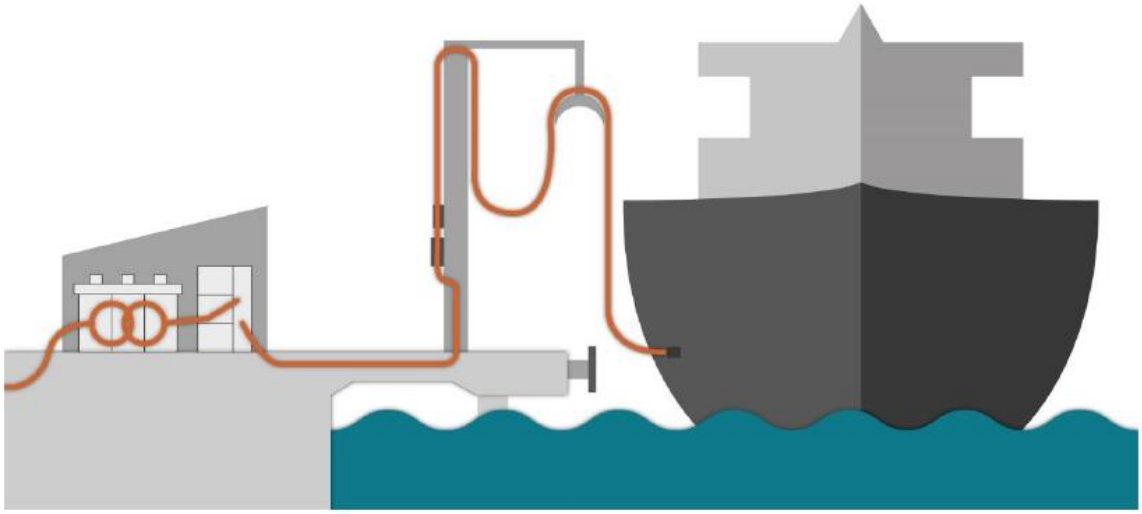


Figura 12. *Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle.*

El sistema de manejo de cables propuesto para la instalación del nuevo sistema OPS a buques Ro-Pax en Puerto de Málaga consiste en una grúa diseñada por socios del mismo proyecto *Master Plan for OPS in Spanish Ports* y sus datos técnicos se pueden consultar en los entregables

correspondientes a la Actividad 2.2. *"Analysis of technical alternatives and innovations"* según el AGREEMENT N. º INEA/CEF/TRAN/M2015/1128893.

Finalmente, en la Tabla 5 se muestra un resumen de los resultados y la solución recomendada para la instalación OPS a los buques tipo Ro-Pax del Puerto de Almería.

Tabla 5. *Resultados y solución recomendada para suministro eléctrico a Ro-Pax en el Puerto de Almería.*

RESULTADOS Y SOLUCIÓN RECOMENDADA	
Buques objetivo	*Fortuny* y *Sorolla*
Ubicación de la instalación	Rampas 5 y 6
Simultaneidad de conexión a OPS/Número puntos de conexión	2
Número de atraques anuales	359
Horas de atraque anuales/Tiempo total conectado a OPS (h/año)	1.220,82
Cantidad de MGO consumida actualmente en atraque sin OPS (Ton)	582,54
Total demanda eléctrica durante un año (MWh)	3.148,89
Perfil de potencia media y máxima (kW) durante la estancia en muelle	Ver Figura 11
Potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle (kW)	2.579,32
Voltaje de suministro para la instalación eléctrica en muelle (kV)	6,6
Frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle (Hz)	50/60

5. BENEFICIOS SOCIALES DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN OPS

Las áreas portuarias suelen estar ubicadas en las proximidades de las ciudades principales, y por tanto, cerca de los hábitats humanos. De esta manera, la reducción de las emisiones asociada a la implantación del sistema OPS es de vital importancia, así como la eliminación del impacto acústico gracias a la desactivación de los motores auxiliares de los buques. El impacto acústico es un factor importante en este caso, ya que los muelles en cuestión se encuentran muy cerca de la avenida. En esta avenida se encuentran edificios de viviendas, en los cuales se han llegado a registrar quejas y molestias debido al impacto acústico (ver también apartado 5.2).

Referencia	Radio	Población
2º alineación de rivera Pantalán 1	250 m	302

Referencia	Radio	Población
2º alineación de rivera – Pantalán 1	500 m	9.131

Figura 13. *Rangos de afección según distancia en el Puerto de Almería (Ver ANEXO 3. Rangos de afección en el Puerto de Almería.)*

A continuación, se estudian estos beneficios sociales y como afectan a la población según la distancia a la que se encuentran (Figura 13).

En el ANEXO 3. Rangos de afección en el Puerto de Almería. se incluyen mapas adicionales con las diferentes distancias y rangos de afección tomando como punto de referencia las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería.

5.1. ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

En este apartado se va a estudiar la reducción de las emisiones asociadas a la sustitución de los motores auxiliares de los buques durante su estancia en puerto, con la implantación del nuevo sistema OPS.

Teniendo en cuenta una demanda energética anual de **3.148,89 MWh**, se obtiene la reducción de las emisiones generadas a partir de la implantación del sistema OPS. La Tabla 6 muestra la reducción de emisiones anual (CO_2, NO_X, SO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$) para los buques *Fortuny* y *Sorolla*.

Tabla 6. *Reducción de emisiones asociada a la sustitución de los motores auxiliares por el sistema OPS.*

	REDUCCIÓN DE EMISIONES (Ton.)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Escenario base (con MGO)	2.226,26	30,23	1,32	1,01	0,94
Sistema OPS (suministro eléctrico)	715,25	1,23	1,00	0,57	0,57
% Reducción de emisiones	**-67,9%**	**-95,9%**	**-24,2%**	**-43,6%**	**-39,4%**

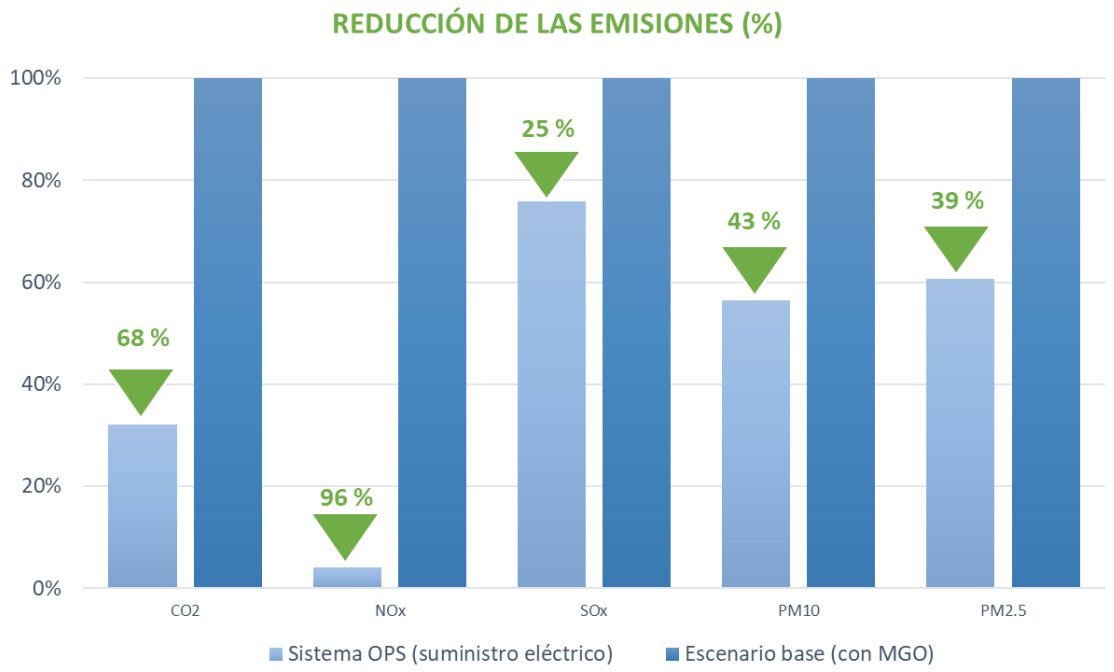


Figura 14. *Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS.*

Por otro lado, en la Figura 14 podemos observar la reducción de las emisiones que supondría la instalación de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería, sustituyendo el anual sistema compuesto por los motores auxiliares que actualmente funcionan con MGO.

En el ANEXO 4. Metodología para el cálculo de las emisiones. se explica la metodología utilizada para llevar a cabo el cálculo de la reducción de emisiones asociada a la desactivación de los motores auxiliares de los ferries en el Puerto de Almería.

5.2. REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO

Durante la visita a las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Almería, se ha detectado el problema que suponen los atraques de Ferrys en la rampa A6, de tal manera que desde ella se

puede ver la poca distancia (150 metros) que la separa de las viviendas más cercanas (ver Figura 15 y Figura 16).

Figura 15. *Visualización de las viviendas cercanas a la Rampa 6 de atraque de Ferrys.*

Figura 16. *Distancia desde la Rampa 6 hasta los edificios de viviendas en el Puerto de Almería.*

Estos atraques se realizan en muchas ocasiones durante la noche, por lo que el ruido producido por los motores auxiliares de estos buques ha derivado en quejas y denuncias por parte de la población que vive en las cercanías del puerto, lo que ha obligado a emplear durante la noche otros atraques disponibles de forma que esta rampa ha disminuido su utilización un 70%.

La reducción del impacto acústico asociado a la implantación del nuevo sistema OPS se ha estimado a partir de un estudio realizado por Tecnalia: *Evaluación del beneficio acústico asociado al sistema Cold Ironing en los puertos* /7/.

En las mediciones acústicas llevadas a cabo en este informe se han identificado dos focos de ruido diferenciados, la ventilación asociada al buque y el ruido del motor auxiliar con su ventilación asociada. Se parte del supuesto de que al aplicar OPS se eliminan las emisiones de los motores auxiliares y su ventilación, pero se mantiene la ventilación asociada a la climatización de las bodegas y otros espacios del buque.

Tabla 7. *Mediciones de potencia sonora de los motores auxiliares y equipos de ventilación de los buques Ro-Pax.*

	Niveles Potencia Sonora LWA dBA		
	Situación Actual	OPS-Cold Ironing	Diferencia dBA
Ro-Ro Pasajeros	115	113	2,0

En la Figura 17 se muestra la ficha descriptiva de las mediciones realizadas a los buques tipo Ro-Pax, cuantificándose la emisión acústica de los focos de ruido, e indicando si modifican su emisión con el nuevo sistema OPS. Finalmente, esta ficha representa la emisión acústica del conjunto del buque en ambos escenarios.

Inventario de Embarcaciones			
Ficha Nº: 1	Ro-Ro Nº 1	Tipo:	Ferry/Ro-Ro Pasajeros
Focos Acústico 1			
Descripción	Motor auxiliar	OPS	SI
Valor del nivel de potencia acústica ponderado "A" Lwa (re 1pW en dB):			**109,3**
Focos Acústico 2			
Descripción	Ventilación	OPS	No
Valor del nivel de potencia acústica ponderado "A" Lwa (re 1pW en dB):			**113,2**
Nivel de Potencia Sonora del Ferry/Ro-Ro Pasajeros		**Sin Sistema OPS**	
Descripción	Todos Focos de ruido		
Valor del nivel de potencia acústica ponderado "A" Lwa (re 1pW en dB):			**115,0**
Nivel de Potencia Sonora del Ferry/Ro-Ro Pasajeros		**Con Sistema OPS**	
Descripción	Todos Focos de ruido		
Valor del nivel de potencia acústica ponderado "A" Lwa (re 1pW en dB):			**113,0**
Espectro en A en bandas de Tercio de Octavas			

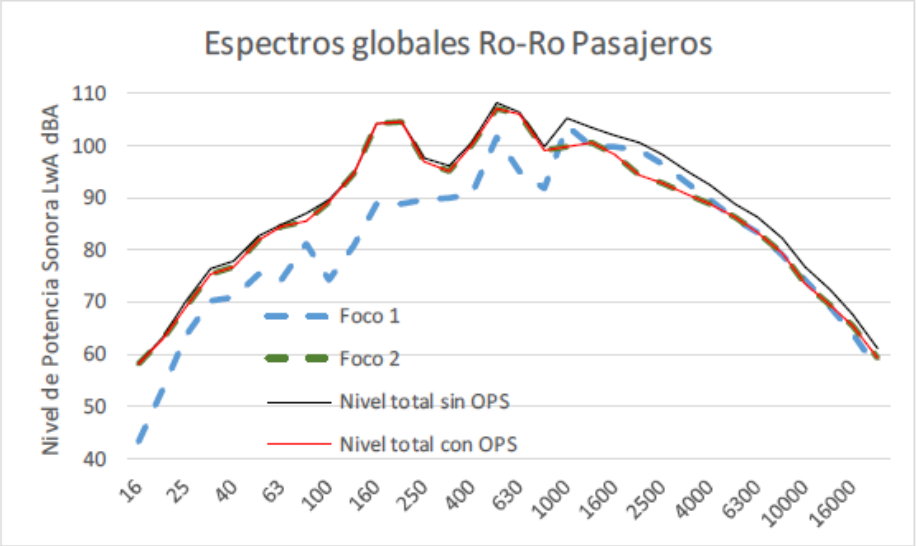


Figura 17. *Ficha descriptiva de las mediciones realizadas a buques tipo Ro-Pax.*

De esta manera, se estima que el beneficio acústico derivado de la implementación del nuevo sistema de conexión eléctrica a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería es la eliminación del ruido asociado a la desactivación de los motores auxiliares, lo cual equivale a 2 dB de reducción, lo que puede no ser una reducción significativa en términos de percepción.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

El análisis económico-financiero se ha realizado teniendo en cuenta la comparación entre el sistema actual utilizando los motores auxiliares del buque con MGO y el nuevo sistema OPS de conexión eléctrica a buques tipo Ro-Pax seleccionados en el Puerto de Almería. En la Tabla 8 se resumen los cálculos económicos de estos dos sistemas, en la que se incluyen dos tipos de costes: inversiones iniciales y gastos recurrentes anualmente.

Tabla 8. *Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.*

	OPS		MGO	
INVERSIÓN EN MUELLE	**-3.107.629**	**€**	**0,00**	**€**
Ampliación de la red eléctrica	*-500.000*	*€*	*0,00*	*€*
Inversión en los equipos eléctricos	*-2.607.629*	*€*	*0,00*	*€*
INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	**-300.000**	**€**	**0,00**	**€**
INVERSIÓN EN LOS BUQUES *	**-337.933**	**€**	**0,00**	**€**
Sistema eléctrico	*-239.933*	*€*	*0,00*	*€*
Costes de homologación	*-40.000*	*€*	*0,00*	*€*
Otros costes	*-58.000*	*€*	*0,00*	*€*
GASTOS ANUALES	**469.532**	**€/año**	**330.995**	**€/año**
Gasto anual de energía	*392.380*	*€/año*	*319.274,73*	*€/año*
Gasto anual de operación	*25.000*	*€/año*	*0,00*	*€/año*
Gasto anual de mantenimiento	*52.153*	*€/año*	*11.719,87*	*€/año*

** Se incluye la inversión de 1 buque, ya que en los casos de OPS Málaga y Almería se conectan los mismos buques (Fortuny y Sorolla) por lo que se reparte la inversión de 1 buque a cada caso.*

A continuación, se desglosa cada uno de los cálculos económicos que hemos visto en la Tabla 8.

6.1. INVERSIÓN

La inversión necesaria para llevar a cabo la instalación OPS de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería se desglosa en tres tipos:

- La inversión en muelle en la que se incluye la ampliación de la red y los equipos eléctricos necesarios para el acondicionamiento de la energía eléctrica proveniente de la red eléctrica nacional.

- La inversión en los sistemas de manejo de cables que van a permitir llevar las conexiones al punto de contacto en el interior de los buques.
- La inversión en el sistema eléctrico de los buques y de esta manera poder adaptar cada uno de ellos y permitir su fácil conexión al nuevo sistema.

En la Tabla 9 se resume la comparativa de la inversión necesaria para el nuevo sistema OPS y el actual sistema con los motores auxiliares alimentados por MGO.

Tabla 9. *Comparativa de la inversión en muelle entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.*

	OPS		MGO	
INVERSIÓN EN EL MUELLE	**-3.107.629**	**€**	**0,00**	**€**
Ampliación de la red eléctrica	*-500.000*		*0,00*	*€*
Inversión en los equipos eléctricos	*-2.607.629*	*€*	*0,00*	*€*
INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	**-300.000**	**€**	**0,00**	**€**
INVERSIÓN EN LOS BUQUES *	**-337.933**	**€**	**0,00**	**€**
Sistema eléctrico	*-239.933*	*€*	*0,00*	*€*
Costes de homologación	*-40.000*	*€*	*0,00*	*€*
Otros costes	*-58.000*	*€*	*0,00*	*€*
Inversión en cada buque	***-337.933***	***€***	***0,00***	***€***
Número de buques	***2***	***-***	***0***	***-***

** Se incluye la inversión de 1 buque, ya que en los casos de OPS Málaga y Almería se conectan los mismos buques (Fortuny y Sorolla) por lo que se reparte la inversión de 1 buque a cada caso.*

A continuación, se desglosan los tres tipos de inversión descritos.

6.1.1. Coste de la inversión en muelle

La inversión que sería necesario realizar en el muelle seleccionado para el Puerto de Almería incluye la ampliación de la red eléctrica disponible en el CT12 ubicado en la cercanía de las rampas A5 y A6. Por otro lado, sería necesario incluir un **Sistema de Interconexión**, como el descrito en el apartado *Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en muelle,* capaz de acondicionar la energía eléctrica proveniente del CT12 a la potencia que el buque necesita.

En el coste de la inversión en muelle también se ha incluido el presupuesto de la conexión desde el sistema de interconexión de Red de Media Tensión hasta el buque, en el que se ha tenido en cuenta una distancia de 20 metros hasta el punto de contacto en la rampa A5 y 60 metros hasta la rampa A6, según la configuración de la instalación ya vista en la Figura 8.

Tabla 10. *Coste de la inversión en el muelle para implantación de OPS en el Puerto de Almería.*

INVERSIÓN EN EL MUELLE			
AMPLIACIÓN RED ELÉCTRICA			**500.000 €**
EQUIPOS ELÉCTRICOS			**2.607.629 €**
SISTEMA DE INTERCONEXIÓN RED DE MEDIA TENSIÓN			
Aparamenta Media tensión lado tierra, tensión máxim 36 kV y 50 Hz *Aparamenta Media tensión lado buque, tensión máxima 12 kV y 60 Hz* *2 Convertidores de frecuencia electrónicos, 50/60 Hz, 4,3 MVA potencia máxima unitaria. Integrados en 2 containers incluyendo sistema de refrigeración.* *2 Transformadores reductores, Tierra-Convertidor, 10 MVA potencia unitaria, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.* *2 Transformadores elevadores, Convertidor-Buque 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.* *Integración física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado.* *Sistema de protecciones en media tensión y control básico.*			*2.350.000 €*
CONEXIÓN CT/BUQUE RAMPA A5 *		**Precio/unidad**	**Precio**
Arqueta prefabricada de hormigón	*5 uds.*	*5.333 €*	*8.121 €*
20 metros de canalización A.T. 50 Hz	*110,54 €/m*	*2.211 €*	
20 metros de cable A.T. 12/20 kV, 1x240 mm2	*15,11 €/m*	*302 €*	
20 metros de cable A.T. 6/10 kV 1x150 mm2	*13,75 €/m*	*275 €*	
CONEXIÓN CT/BUQUE RAMPA A6 **		**Precio/unidad**	**Precio**
Arqueta prefabricada de hormigón	*5 uds.*	*5.333 €*	*13.697 €*
60 metros de canalización A.T. 50 Hz	*110,54 €/m*	*6.632 €*	
60 metros de cable A.T. 12/20 kV, 1x240 mm2	*15,11 €/m*	*907 €*	
60 metros de cable A.T. 6/10 kV 1x150 mm2	*13,75 €/m*	*825 €*	
TRABAJOS DE OBRA CIVIL (10%) ***			**235.812 €**

*** Se ha calculado una distancia de 20 m entre la ubicación de los equipos eléctricos y el sistema de manejo de cables de la rampa A5.**

**** Se ha calculado una distancia de 60 m entre la ubicación de los equipos eléctricos y el sistema de manejo de cables de la rampa A6.**

***** En el presupuesto de equipos eléctricos se ha incluido un 10% correspondiente a los trabajos de obra civil.**

Las cifras económicas para los equipos eléctricos necesarios en el Puerto de Almería están estimadas en base a un presupuesto preliminar recibido de un fabricante. En este caso se ha obtenido un presupuesto elevado debido a los requerimientos para el dimensionamiento de la instalación de suministro eléctrico, lo cual elevada considerablemente estos costes: disponibilidad de dos puntos de conexión en muelle, convertidores de frecuencia para disponer de una mayor flexibilidad en la conexión de buques, etc.

6.1.2. Coste de la inversión del sistema de manejo de cables

El sistema de manejo de cables propuesto para la instalación del nuevo sistema OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería consiste en una grúa diseñada por socios del mismo proyecto *Master Plan for OPS in Spanish Ports* y sus datos técnicos se pueden consultar en los entregables correspondientes a la Actividad 2.2. "*Analysis of technical alternatives and innovations"* según el AGREEMENT N. º INEA/CEF/TRAN/M2015/1128893.

En el Puerto de Almería se plantea la instalación de dos puntos de conexión en las rampas A5 y A6 por lo que es necesario incluir el coste de inversión de dos grúas para el manejo de cables.

En la Tabla 11 se muestra una estimación de la inversión necesaria para estos sistemas de manejo de cables diseñados.

Tabla 11. *Inversión estimada para los sistemas de manejo de cables.*

SISTEMA DE MANEJO DE CABLES			**300.000 €**
	Precio/unidad	**Unidades**	**Precio**
Grúa para el manejo de cables en las rampas A5 y A6	*150.000 €*	*2*	*300.000 €*

Incluir las fotografías de las grúas tipo que nos envíe Julio.

6.1.3. Coste de la inversión en los buques

La inversión en los buques incluye el coste asociado a la adaptación del sistema eléctrico de los ferries seleccionados: *Fortuny* y *Sorolla*. En la Tabla 12 se muestra el desglose de costes de los materiales necesarios para llevar cabo la transformación de la energía eléctrica.

Tabla 12. *Costes de la inversión en los buques para su adaptación al nuevo sistema OPS.*

INVERSIÓN EN LOS BUQUES				
SISTEMA ELÉCTRICO				**239.933 €**
Concepto	**Cantidad**		**Precio/unidad**	**Precio**
Transformador 3 MVA 6,6/0,4 kV	*1*	*ud*	201.500 €	*201.500 €*
Conectores	*1*	*ud*	1.048 €	*1.048 €*
Contactores y seccionadores	*1*	*ud*	4.250 €	*4.250 €*
Compartimento para el transformador	*1*	*ud*	6.688 €	*6.688 €*
Sistema de sincronización	*1*	*ud*	23.000 €	*23.000 €*
Equipo de control a bordo	*1*	*ud*	3.447 €	*3.447 €*

Costes sistema eléctrico	*239.933 €*
Costes de homologación	*40.000 €*
Otros costes	*58.000 €*
COSTE TOTAL POR BUQUE	***337.933 €***
Número de buques	*2*
COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN EN LOS BUQUES	**337.933 €**

Tal y como podemos observar en la Tabla 12, se incluye únicamente el coste de inversión de un buque. Esto es debido a que en los estudios OPS de Almería y Málaga se plantea la conexión de los mismos buques, *Fortuny* y *Sorolla*, de la naviera Armas-Trasmediterránea. Con lo cual, en el momento de hacer los cálculos económicos totales de los dos casos (Almería y Málaga), se reparte la inversión de 1 buque a cada caso.

6.2. GASTO OPERACIONAL

Los gastos estimados para la instalación OPS de suministro de electricidad a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería se desglosan en: suministro de energía eléctrica y gastos anuales de operación y mantenimiento.

En la Tabla 13 se resumen los gastos anuales correspondientes a la implantación del sistema OPS en comparación con el sistema actual compuesto por los motores auxiliares alimentados por MGO.

Tabla 13. *Comparativa de los gastos anuales entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.*

	OPS		MGO	
GASTOS ANUALES	**469.532**	**€/año**	**330.995**	**€/año**
Gasto anual de energía	*392.379,88*	*€/año*	*319.274,73*	*€/año*
Gasto anual de operación	*25.000,00*	*€/año*	*0,00*	*€/año*
Gasto anual de mantenimiento	*52.152,59*	*€/año*	*11.719,87*	*€/año*

A continuación, se describen todos los gastos estimados en la Tabla 13.

6.2.1. Gasto anual de suministro de energía eléctrica

Teniendo en cuenta un consumo anual igual a **3.148,89 MWh**, se ha obtenido el importe del suministro eléctrico estimado para la instalación de OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería. El valor del precio eléctrico medio sin IVA es igual a **0,1246 €/kWh** y ha sido establecido por una comercializadora.

El gasto anual de suministro eléctrico se ha obtenido teniendo en cuenta la *Decisión de Ejecución (UE) 2018/1491 del Consejo, por la que se autoriza a España, de conformidad con el artículo 19 de la Directiva 2003/93/E*, a aplicar un tipo impositivo reducido del impuesto especial sobre la electricidad suministrada directamente a los buques atracados en puerto /8/.

Tabla 14. *Gasto anual de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería.*

POTENCIA MEDIA TARIFA 6.1	
Facturación anual sin IVA	*324.280,90 €*
Impuesto sobre el valor añadido	*68.098,99 €*
Importe facturación anual	*392.379,88 €*

Consumo (kWh)	**3.148.885,44**

Precio eléctrico medio sin IVA (€/kWh)	*0,1246*

El gasto anual de suministro de energía eléctrica con el nuevo sistema OPS es de **392.380 €.** Este se ha comparado con el gasto actual asociado al suministro de MGO, obteniendo un valor de **319.275 €.** De esta manera, se puede concluir que el nuevo gasto asociado al sistema OPS es **73.000 €** superior al actual.

6.2.2. Gasto anual para personal de operación

Para el cálculo del gasto de operación se va a tener en cuenta el trabajo de una persona a jornada completa para manejar/operar el sistema OPS, cuyo coste se estima en **25.000 €/año**.

6.2.3. Gasto anual de mantenimiento

En cuanto al gasto correspondiente al mantenimiento se va a calcular como el 2% del gasto anual de la inversión que se pretende realizar en los equipos eléctricos. De esta manera, se estima un gasto anual de **52.153 €.**

Por otro lado, hay que destacar que con el nuevo sistema OPS se elimina el gasto correspondiente al desgaste de los motores auxiliares. Dicho gasto sí ha sido estimado para el caso actual con MGO y se ha calculado a partir de la herramienta ''OPS calculation tool'' de WPCI (World Ports Climate Initiative). En la Tabla 15 se muestra un resumen de esta estimación.

Tabla 15. *Gasto anual de mantenimiento para los motores auxiliares en el sistema actual.*

DESGASTE DE MOTORES AUXILIARES	11.720	€/año
Número de buques en operación	*2,00*	*uds.*
Número de motores auxiliares por buque	*3,00*	*uds.*
Gasto por motor y hora	*1,60*	*€/motor/hora*
Horas anuales de atraque	*1.220,82*	*horas*

6.3. OTROS FACTORES E IMPACTOS ECONÓMICOS

En este apartado se valoran otros factores e impactos económicos como son: la estimación del coste externo debido a la reducción de las emisiones de CO_2, SO_X, NO_X y partículas (PM) y la bonificación del 50% sobre el importe de la estadía de los buques en puerto; esta bonificación es otorgada por las Autoridades Portuarias en virtud de la correspondiente prescripción legal a los buques que se conectan a la red eléctrica y apagan sus motores auxiliares mientras están atracados.

6.3.1. Monetización de las emisiones

El primero de estos factores es la estimación del coste externo debido a la reducción de las emisiones de CO_2, SO_X, NO_X y partículas (PM). De esta manera, se ha establecido una comparativa entre las emisiones producidas por los motores auxiliares de los buques

alimentados por MGO y el nuevo sistema OPS basado en el suministro de electricidad a buques atracados en puerto. En la Tabla 16 se muestran los valores obtenidos para cada caso.

Tabla 16. *Monetización de las emisiones contaminantes del sistema actual y del nuevo sistema OPS.*

	OPS		MGO	
EMISIONES CONTAMINANTES - Cuantificación	**716,48**	**Tons/año**	**2.256,49**	**Tons/año**
CO2	*715,25*	*Tons/año*	*2.226,26*	*Tons/año*
NOx	*1,23*	*Tons/año*	*30,23*	*Tons/año*
SOx	*1,00*	*Tons/año*	*1,32*	*Tons/año*
PM10	*0,57*	*Tons/año*	*1,01*	*Tons/año*
PM2.5	*0,57*	*Tons/año*	*0,94*	*Tons/año*
COSTE DE LAS EMISIONES				
* *CO2*	*10*	*€/Ton*	*10*	*€/Ton*
* *NOx*	*1.000*	*€/Ton*	*1.000*	*€/Ton*
* *SOx*	*5.600*	*€/Ton*	*5.600*	*€/Ton*
* *PM10*	*26.000*	*€/Ton*	*26.000*	*€/Ton*
* *PM2.5*	*26.000*	*€/Ton*	*26.000*	*€/Ton*
EMISIONES CONTAMINANTES - Monetización	**8.382,50**	**€/año**	**52.492,60**	**€/año**
CO2	*7.152,50*	€/año	*22.262,60*	€/año
NOx	*1.230,00*	€/año	*30.230,00*	€/año
SOx	*5.600,00*	€/año	*7.392,00*	€/año
PM10	*14.820,00*	€/año	*26.260,00*	€/año
PM2.5	*14.820,00*	€/año	*24.440,00*	€/año

** Organismo Público Puertos del Estado. Medidas para la dotación de suministro eléctrico a buques en los puertos de interés general. 2016.*

6.3.2. Bonificación de la tasa T-1

El coste asociado a la tasa del buque (T-1) se ha estimado según lo recogido en el B.O.E. número 253, subsección 1ª.

Uno de los impactos económicos del sistema OPS es la ***bonificación del 50% en la tasa T-1*** [2] que grava la estancia de los buques en puerto y que se otorga a aquellos buques que realicen el

[2] De acuerdo con la Ley 48/2015 de Presupuestos Generales del Estado para el 2016, en la que se mantiene el 50% de reducción en las tasas portuarias para los buques (en el caso de emplear GNL como combustible o estar conectados a la red eléctrica en puerto) establecida en la Ley 36/2014 de Presupuestos Generales del Estado para 2015.

suministro eléctrico o empleen GNL como combustible durante el tiempo que permanecen en atraque apagando sus motores auxiliares al no necesitarlos ya para generar energía.

Tabla 17. *Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS.*

	OPS		MGO	
BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1	**148.961**	**€/año**	**297.922**	**€/año**
% Bonificación de la tasa T-1 de los buques	*50,00*	*%*	*0,00*	*%*
Costes de atraque	*148.960,76*	*€/año*	*297.921,51*	*€/año*

Finalmente, en la Tabla 18 se muestra la comparativa económica entre el sistema actual alimentado por MGO y el nuevo sistema OPS, incluyendo los nuevos factores económicos, tales como la monetización de las emisiones y la bonificación del 50% de la tasa T-1.

Tabla 18. *Comparativa económica con la monetización de las emisiones y la bonificación de la tasa T-1.*

	OPS		MGO	
INVERSIÓN EN MUELLE	**-3.107.629**	**€**	**0,00**	**€**
Ampliación de la red eléctrica	*-500.000*	*€*	*0,00*	*€*
Inversión en los equipos eléctricos	*-2.607.629*	*€*	*0,00*	*€*
INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	**-300.000**	**€**	**0,00**	**€**
INVERSIÓN EN LOS BUQUES *	**-337.933**	**€**	**0,00**	**€**
Sistema eléctrico	*-239.933*	*€*	*0,00*	*€*
Costes de homologación	*-40.000*	*€*	*0,00*	*€*
Otros costes	*-58.000*	*€*	*0,00*	*€*

** Se incluye la inversión de 1 buque, ya que en los casos de OPS Málaga y Almería se conectan los mismos buques (Fortuny y Sorolla) por lo que se reparte la inversión de 1 buque a cada caso.*

GASTOS ANUALES	**469.532**	**€/año**	**330.995**	**€/año**
Gasto anual de energía	*392.380*	*€/año*	*319.274,73*	*€/año*
Gasto anual de operación	*25.000*	*€/año*	*0,00*	*€/año*
Gasto anual de mantenimiento	*52.153*	*€/año*	*11.719,87*	*€/año*
MONETIZACIÓN DE LAS EMISIONES	**28.803**	**€/año**	**86.145**	**€/año**
CO2	*7.153*	*€/año*	*22.263*	*€/año*
NOx	*1.230*	*€/año*	*30.230*	*€/año*
SOx	*5.600*	*€/año*	*7.392*	*€/año*
PM10	*14.820*	*€/año*	*26.260*	*€/año*
PM2.5	*14.820*	*€/año*	*24.440*	*€/año*
BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1	**148.961**	**€/año**	**297.922**	**€/año**
% Bonificación de la tasa T-1 de los buques	*50,00*	*%*	*0,00*	*%*
Costes de atraque	*148.960,76*	*€/año*	*297.921,51*	*€/año*

6.4. ESTUDIO DE RENTABILIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En el estudio de rentabilidad se analizan las posibles fuentes de financiación y los cálculos asociados a estas. Para obtener los valores de retorno de la inversión, se ha calculado con un periodo de 15 años y una tasa de descuento del 5%.

6.4.1. Rentabilidad del sistema OPS sin financiaciones

Se valora la rentabilidad de la implantación del sistema OPS sin tener en cuenta ningún tipo de financiación.

Tabla 19. *Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS sin financiaciones.*

PERIODO	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-3.745.562,37	-3.745.562
1	-138.537,87	-3.884.100
2	-138.537,87	-4.022.638
3	-138.537,87	-4.161.176
4	-138.537,87	-4.299.714
5	-138.537,87	-4.438.252
6	-138.537,87	-4.576.790
7	-138.537,87	-4.715.327
8	-138.537,87	-4.853.865
9	-138.537,87	-4.992.403
10	-138.537,87	-5.130.941
11	-138.537,87	-5.269.479
12	-138.537,87	-5.408.017
13	-138.537,87	-5.546.555
14	-138.537,87	-5.685.093
15	-138.537,87	-5.823.630

En la Tabla 19 se muestran los flujos de caja anuales para la instalación del nuevo sistema OPS sin tener en cuenta ningún tipo de financiación. De esta manera, se ha obtenido un valor anual negativo debido a la diferencia de los gastos asociados al sistema OPS en comparación con los gastos del sistema actual. La mayor diferencia se encuentra en el gasto anual de energía, siendo el suministro eléctrico anual con el sistema OPS, 73.000 € superior al sistema actual alimentado por MGO.

Finalmente, se puede concluir que la instalación del sistema OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería no sería rentable sin tener en cuenta ningún tipo de financiación.

6.4.2. Rentabilidad del sistema OPS con financiaciones

Se valora la rentabilidad de la implantación del nuevo sistema OPS teniendo en cuenta las posibles financiaciones explicadas anteriormente: monetización de las emisiones y bonificación del 50% de la tasa T-1.

Tabla 20. *Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones.*

PERIODO	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-3.745.562,37	-3.745.562
1	54.532,99	-3.691.029
2	54.532,99	-3.636.496
3	54.532,99	-3.581.963
4	54.532,99	-3.527.430
5	54.532,99	-3.472.897
6	54.532,99	-3.418.364
7	54.532,99	-3.363.831
8	54.532,99	-3.309.298
9	54.532,99	-3.254.765
10	54.532,99	-3.200.232
11	54.532,99	-3.145.699
12	54.532,99	-3.091.167
13	54.532,99	-3.036.634
14	54.532,99	-2.982.101
15	54.532,99	-2.927.568

En la Tabla 20 se muestran los valores obtenidos para la rentabilidad del sistema OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería, incluyendo dos tipos de financiación: monetización de las emisiones y bonificación del 50% de la tasa T-1. En este caso, el valor anual de los flujos de caja resulta positivo. Sin embargo, en el periodo de 15 años no se recupera la inversión inicial.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio de viabilidad para la implantación del nuevo sistema OPS de conexión eléctrica a buques tipo Ro-Pax en atraque en el Puerto de Almería, se ha conseguido establecer los datos técnicos necesarios para llevar a cabo la instalación, se han analizado los beneficios

sociales derivados de la implantación del nuevo sistema y finalmente, el análisis económico-financiero del proyecto.

En la Tabla 21 se muestra un resumen de los **datos técnicos** necesarios para la implantación del nuevo sistema de conexión eléctrica a **buques tipo Ro-Pax en atraque en el Puerto de Almería**.

Tabla 21. *Resumen y conclusiones de los datos técnicos de la nueva instalación OPS.*

DATOS TÉCNICOS DE LA INSTALACIÓN OPS	
Ubicación del sistema OPS	Muelle N-3.2
Número de buques a conectarse a OPS *	2 - *Fortuny* y *Sorolla*
Simultaneidad de conexión a OPS/Número puntos de conexión	2
Número de atraques anuales	359
Horas de atraque anuales/Tiempo total conectado a OPS (h/año)	1.220,82
Cantidad de MGO consumida actualmente en atraque sin OPS (Ton)	582,54
Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh)	3.148,89
Perfil de potencia media y máxima (kW) durante la estancia en muelle	Ver Figura 11
Potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle (kW)	2.579,32
Voltaje de suministro para la instalación eléctrica en muelle (kV)	6,6
Frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle (Hz)	50/60

** Los buques estudiados han sido Fortuny y Sorolla. Sin embargo, el sistema OPS en el Puerto de Almería ha sido dimensionado para disponer de una mayor flexibilidad en la conexión de los buques en muelle.*

Por otro lado, se han analizado los beneficios sociales derivados de este nuevo sistema OPS, tales como la **reducción de emisiones y ruido**, gracias a la desconexión de los motores auxiliares y sistemas de ventilación de los buques tipo Ro-Pax del Puerto de Almería, tal y como podemos observar en la Tabla 22 y Tabla 23.

Tabla 22. *Reducción de emisiones asociadas al nuevo sistema OPS.*

	REDUCCIÓN DE EMISIONES (Ton.)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Escenario base (con MGO)	2.226,26	30,23	1,32	1,01	0,94
Sistema OPS (suministro eléctrico)	715,25	1,23	1,00	0,57	0,57
% Reducción de emisiones	**-67,9%**	**-95,9%**	**-24,2%**	**-43,6%**	**-39,4%**

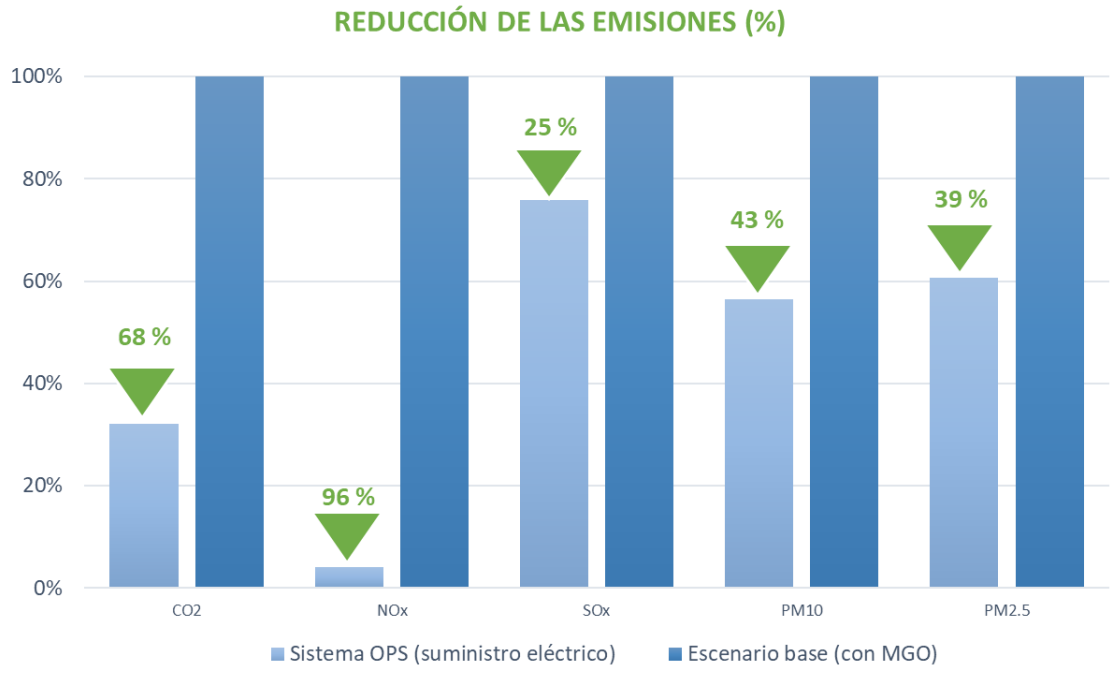


Figura 18. *Porcentaje de reducción de las emisiones (%) asociadas al nuevo sistema OPS.*

Tabla 23. *Reducción de ruido asociado al nuevo sistema OPS.*

BENEFICIOS SOCIALES
REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO
Eliminación del ruido asociado a la desactivación de los motores auxiliares, lo cual equivale a 2 dB de reducción.

Por último, en la Tabla 24 se resumen los resultados del **análisis económico**, con la comparativa del sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS de suministro de energía eléctrica a buques en puerto. Los datos económicos incluidos son la inversión, los gastos operacionales, la monetización de las emisiones y la bonificación del 50% de la tasa T-1.

Tabla 24. *Cálculos económicos y comparativa entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.*

CÁLCULOS ECONÓMICOS	
INVERSIÓN	
MGO	**0 €**
SISTEMA OPS	**3.745.562 €**
DIFERENCIAL OPS-MGO	**-3.745.562 €**
GASTO OPERACIONAL	
MGO	**330.995 €**
SISTEMA OPS	**469.532 €**
DIFERENCIAL OPS-MGO	**-138.538 €**
MONETIZACIÓN DE LAS EMISIONES	
MGO	**52.493 €**
SISTEMA OPS	**8.383 €**
DIFERENCIAL OPS-MGO	**44.110 €**
BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1	
MGO	**297.922 €**
SISTEMA OPS	**148.961 €**
DIFERENCIAL OPS-MGO	**148.961 €**

Los resultados obtenidos de este análisis económico para la nueva instalación de un sistema OPS en el Puerto de Almería son: sería necesario realizar una inversión inicial elevada y el gasto operacional resultaría negativo en comparación con el sistema actual. Sin embargo, este gasto se reduciría si incluimos factores como la monetización de las emisiones y la bonificación de la tasa T-1.

Por otro lado, en la Tabla 25 se ha incluido la valoración de la rentabilidad en dos casos: sin tener en cuenta ningún tipo de financiación y por otro lado, incluyendo la monetización de las emisiones y la bonificación del 50% de la tasa T-1.

Tabla 25. *Análisis de rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS en el Puerto de Almería.*

RENTABILIDAD	
Sin financiación	
VAN	**-5.183.538 €**
TIR	-
PERIODO DE RETORNO	-
Con financiación	
VAN	**-3.179.529 €**
TIR	-
PERIODO DE RETORNO	-

Tal y como podemos ver en la Tabla 25, los resultados obtenidos para el suministro eléctrico a ferrys en el Puerto de Almería tienen muy poca rentabilidad. Sin embargo, hay que destacar que el elevado presupuesto de este caso es debido a los requerimientos por parte de la Autoridad Portuaria de Almería. Uno de los requisitos es el de simultaneidad de conexión igual a 2, para poder hacer uso de la instalación OPS de una manera más flexible en el futuro.

Esto hace que los requerimientos del sistema sean superiores a los que necesita, como por ejemplo, incluir un convertidor de frecuencia a 60 Hz. Esto se debe a que los buques estudiados (*Fortuny* y *Sorolla*) tienen menos horas de atraque en el Puerto de Almería, por lo que se ha solicitado poder usar ese sistema también para otros buques. En el ANEXO 5. Escenario alternativo para el estudio OPS en el Puerto de Almería. se incluye un análisis de este escenario alternativo planteado para el Puerto de Almería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] *Directiva 2014/94/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.*

[2] *Directiva 2012/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de noviembre de 2012 relativa al contenido de azufre de los combustibles para uso marino.*

[3] *International Standard IEC/ISO/IEEE 80005-1 – Utility connections in port – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements*

[4] *International Standard IEC/ISO/IEEE 80005-3 – Utility connections in port – Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems – General requirements*

[5] *World Ports Climate Initiative (WPCI) – Onshore Power Supply – Guidance document*

[6] *Ericsson y Fazlagic (2008) Shore-side Power Supply – A Feasibility Study and a Technical Solution for an On-shore Electrical Infrastructure to Supply Vessels with Electricity Power while in Port, Department of Energy and Environment – Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.*

[7] TECNALIA Research and Innovation. (2018). *Evaluación del beneficio acústico del sistema Cold Ironing en Puertos*. Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia.

[8] *Decisión de Ejecución (UE) 2018/1491 del Consejo, por la que se autoriza a España, de conformidad con el artículo 19 de la Directiva 2003/93/E*, a aplicar un tipo impositivo reducido del impuesto especial sobre la electricidad suministrada directamente a los buques atracados en puerto.

[9] OPS Master Plan for Spanish Ports. *Evaluación del impacto ambiental causado por las emisiones procedentes de los buques en atraque. Poweratberth.*

[10] OPS Master Plan for Spanish Ports. *Estudio técnico-económico para implantación de OPS a ferries en el Puerto de Málaga.*

ANEXO 1. Análisis detallado del tráfico de buques en el Puerto de Almería.

El primer punto que es necesario definir para que un sistema de suministro eléctrico para buques en puerto sea viable es el tipo de tráfico y buque idóneos para el suministro. Si bien es cierto que uno de los factores clave a la hora de seleccionar los buques adecuados es la frecuencia de sus atraques en puerto y la estabilidad de sus rutas, en muchos casos existen otros factores que motivan esta elección y que es necesario analizar de forma individualizada.

Con motivo de identificar la flota específica que mejor se adapta para la implementación del suministro eléctrico, se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de los atraques más recientes en el Puerto de Almería.

En la Figura 19 se puede ver la distribución de los atraques en función del tipo de buque en el periodo estudiado, y a continuación, en la Tabla 26 se muestran los valores clave de las estancias en el Puerto de Almería.

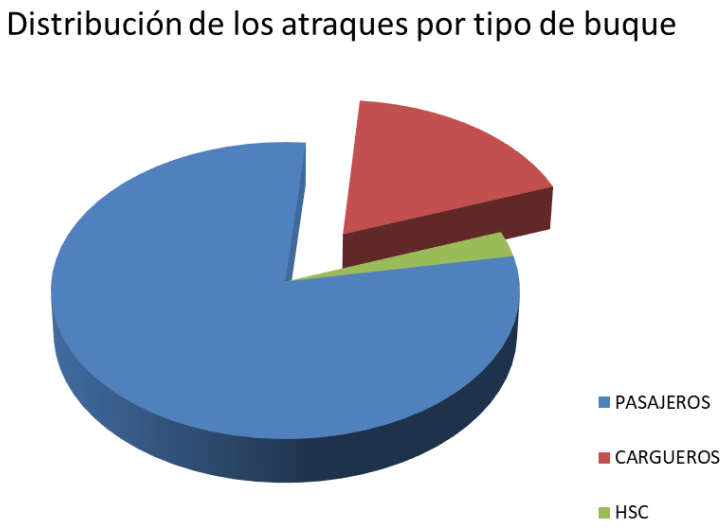


Figura 19. *Distribución de los atraques por tipo de buque.*

Tabla 26. *Datos básicos de los atraques por tipo de buque.*

Tipo de buque	No. Estancias	Duración total (h)	Duración media (h)	Desviación típica
PASAJEROS	1.024	12.021,50	11,74	70,38
CARGUEROS	232	8.738,45	37,83	44,10
HSC	36	68,03	1,89	0,86
TOTAL	**1.292**	**20.828**		

De los datos anteriormente expuestos se puede observar que en el Puerto de Almería predominan los atraques de buques de pasajeros si se considera el número de atraques, además, teniendo en cuenta el número de horas en muelle, los buques de pasajeros también superan con gran diferencia a los de carga de mercancías.

En función de los datos vistos previamente, se ha elaborado la distribución horaria de los atraques en puerto, en la que se hace un recuento de las horas en que los buques están atracados a lo largo del periodo estudiado para posteriormente hallar una media diaria que permita identificar las tendencias de los atraques. Dicha distribución es la mostrada en la Figura 20.

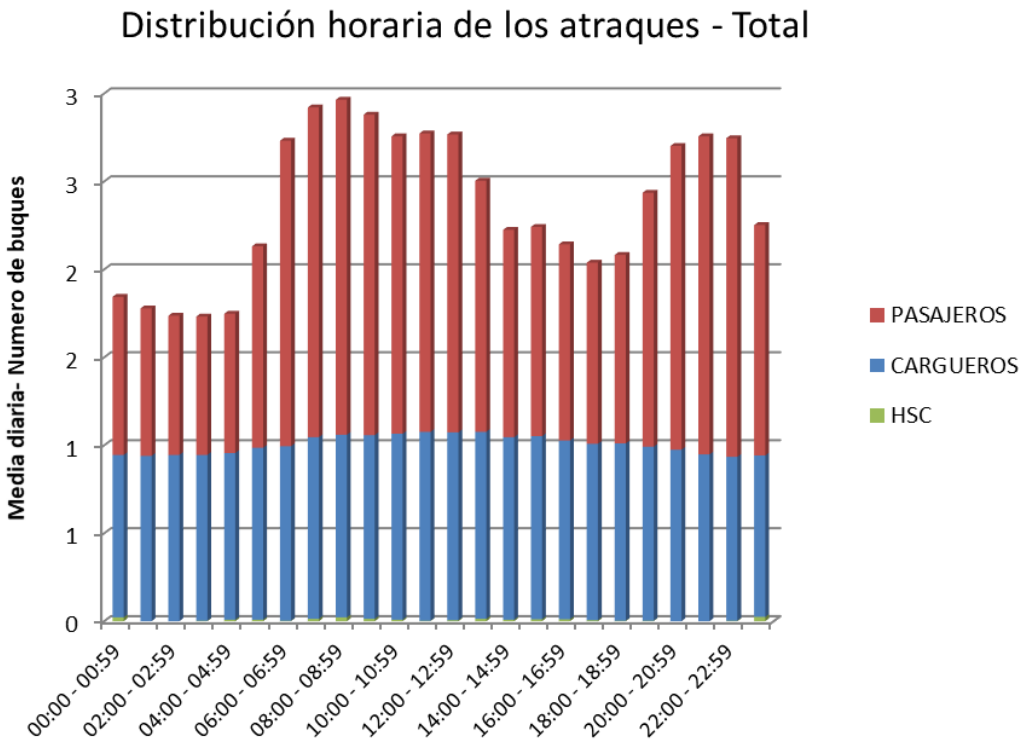


Figura 20. *Distribución diaria de los atraques en el Puerto de Almería.*

Tal y como se puede observar en los datos expuestos, existe un tráfico predominante a primera vista en el Puerto de Almería, pues el mayor número de atraques y el mayor número de horas en puerto son debidos a los buques de pasajeros.

Una vez escogido el tipo de buque objetivo, es necesario filtrar la totalidad de los buques de pasajeros que atracan en el Puerto de Almería. En función de los datos básicos de cada buque se ha aplicado un filtro a partir de los valores umbrales expuestos en la Tabla 27, que definen el número mínimo de atraques, la estancia anual mínima (horas) y la estancia unitaria mínima para

considerar a un buque como adecuado para estudiar en detalle su suministro mediante la tecnología OPS.

Tabla 27. *Valores umbral para el filtrado de buques.*

VALORES UMBRAL FILTRADO	
Número mínimo de atraques (por año)	10
Estancia total mínima anual (h)	300
Estancia media mínima (h)	2

Tabla 28. *Buques de pasajeros que pasan el filtro.*

Buque	No. Estancias	Tipo de buque	Duración total (h)	Duración media (h)	Desviación típica	Filtro SI/NO
ALMARIYA	228	Pasajeros	3.424,52	15,02	32,95	SI
SOROLLA	213	Pasajeros	891,32	4,18	1,05	SI
VRONSKIY	189	Pasajeros	1.971,10	10,43	10,68	SI
LAS PALMASDE GRANCAN	146	Pasajeros	2.295,63	15,72	26,20	SI
FORTUNY	54	Pasajeros	180,12	3,34	1,04	NO
VOLCAN DE TAMASITE	48	Pasajeros	167,10	3,48	4,46	NO
JUAN J. SISTER	38	Pasajeros	264,92	6,97	15,60	NO
PINAR DEL RIO	36	HSC	68,03	1,89	0,86	NO
VOLCAN DE TINAMAR	31	Pasajeros	90,05	2,90	3,07	NO
ALMUDAINA DOS	27	Pasajeros	84,78	3,14	2,71	NO
X-PRESS MONTE BIANCO	12	Carguero	56,78	4,73	1,71	NO
NISSOS_CHIOS	10	Pasajeros	33,93	3,39	2,63	NO
		TOTAL BUQUES QUE PASAN EL FILTRO				**4**

En la Tabla 28 se muestran los buques que finalmente pasan el filtro individualizado para el Puerto de Almería, que son en este caso 4: *ALMARIYA*, *SOROLLA*, *VRONSKIY* y *LAS PALMAS DE GRAN CANARIA*. Además, se ha incluido también en el análisis al buque *FORTUNY*, pues, aunque en número de atraques no se encuentra entre los primeros, podrían encontrarse sinergias con implementaciones en otros puertos que permitiesen a estos buques conectarse también en Almería.

Finalmente, se identificaron y seleccionaron los dos buques tipo ferry de la naviera Armas – Transmediterránea: *Fortuny* y *Sorolla* como candidatos idóneos para utilizar el sistema OPS.

Los buques *Fortuny* y *Sorolla* presentan las siguientes características:

- De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 28, el buque *Sorolla* es uno de los buques con mayor número de estancias en puerto y también destaca por ser uno de los que más horas de atraque realiza. *Sorolla* ha llevado a cabo un total de 213 estancias y 891 horas anuales. Por otro lado, el buque *Fortuny* ha realizado 54 estancias y 180 horas.
- Frecuencia y regularidad de las rutas que realizan los dos buques. *Sorolla* atraca entre 5 y 6 días por semana, mientras que *Fortuny* atraca 1 vez por semana.

Además de la duración y frecuencia de las estancias, otros factores para elegir este caso han sido:

- El estudio de implementación OPS ha sido realizado para los buques *Fortuny* y *Sorolla* debido a que se trata de los mismos buques que los seleccionados previamente en otros casos OPS, por lo que no sería necesario llevar a cabo un nuevo retrofit para otros buques diferentes. Para más información se puede consultar el entregable "*Estudio técnico-económico para implantación de OPS a ferries en el Puerto de Málaga" /10/*.
- Estos buques realizan sus estancias en las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería. Estas rampas se encuentran a una distancia de 150 metros a las viviendas, lo cual ha supuesto denuncias por parte de la población debido al ruido que producen estos buques y la emisión de partículas contaminantes. Esta situación ha obligado en muchas ocasiones a utilizar otros puntos de atraque disponibles de forma que ha disminuido su utilización un 70%.
- Finalmente, hay que destacar que el estudio ha sido dimensionado para llevar a cabo la conexión de todos los buques que atracan en las Rampas A5 y A6 del Puerto de Almería, por lo que se incluye la instalación de dos puntos de suministro, lo que supone una mayor reducción de las emisiones y del ruido.

ANEXO 2. Configuración de los componentes de una instalación OPS.

El sistema OPS consiste en el suministro de energía eléctrica a buques que se basa en obtener dicha electricidad de la red eléctrica nacional y adaptarla de forma que sea compatible con el sistema eléctrico del buque mediante una conexión no permanente. La configuración de los componentes necesarios para una instalación típica de OPS se divide en tres partes diferenciadas, tal y como podemos observar en la Figura 21.

- Acometida a la red eléctrica nacional
- Acondicionamiento de la energía eléctrica
- Gestión de cables y conexión muelle-buque

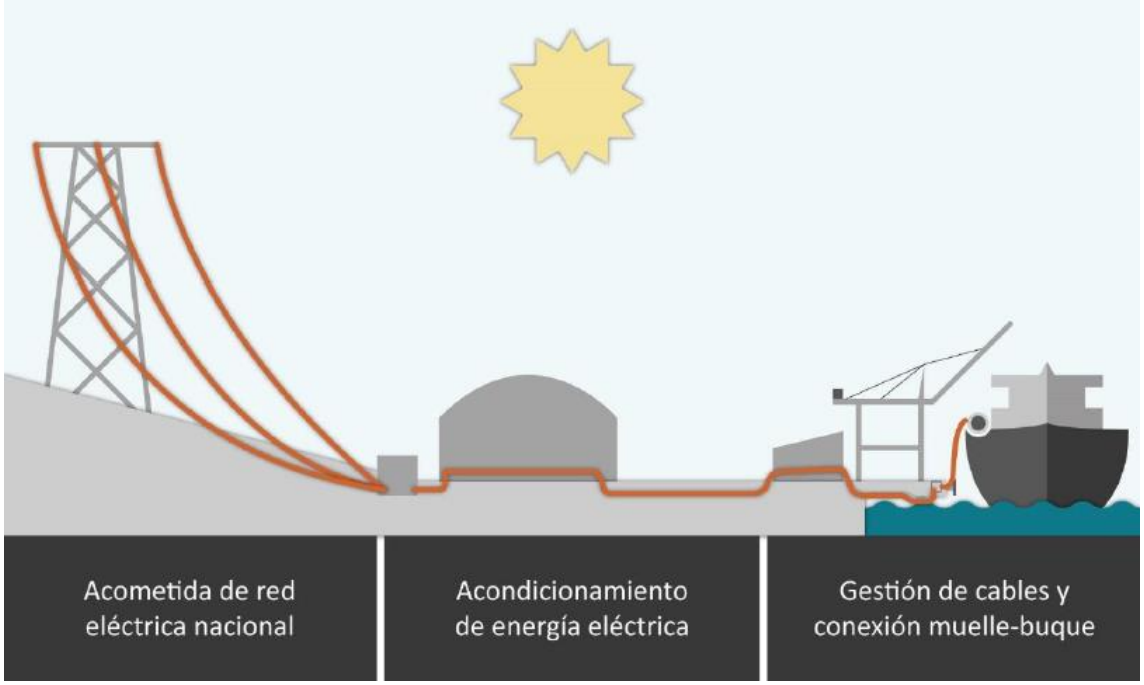


Figura 21. *Componentes principales de una instalación OPS en puerto.*

1. *Acometida a la red eléctrica nacional*

El primer aspecto a tener en cuenta en un estudio técnico para la implantación de un sistema de suministro eléctrico a buques desde puerto es la disponibilidad de potencia eléctrica cercana al muelle donde se va a proceder la instalación de un punto de suministro eléctrico. Para ello se debe buscar la subestación de donde se va a alimenta el sistema OPS.

Los dos factores determinantes en el estudio de esta instalación son la localización de la subestación más cercana y la disponibilidad de la potencia necesaria.

En las rampas A5 y A6 escogidas para la nueva instalación OPS en el Puerto de Almería hay disponibilidad de una subestación cercana al muelle (CT12) que se encuentra a una distancia de

60 metros de la rampa A5 y a 100 metros aproximadamente de la rampa A6. En la Figura 22 se muestra la localización del Centro de Transformación situado en la Estación Marítima del Puerto de Almería (CT12) y su distancia a las rampas A5 y A6 seleccionadas en el estudio.

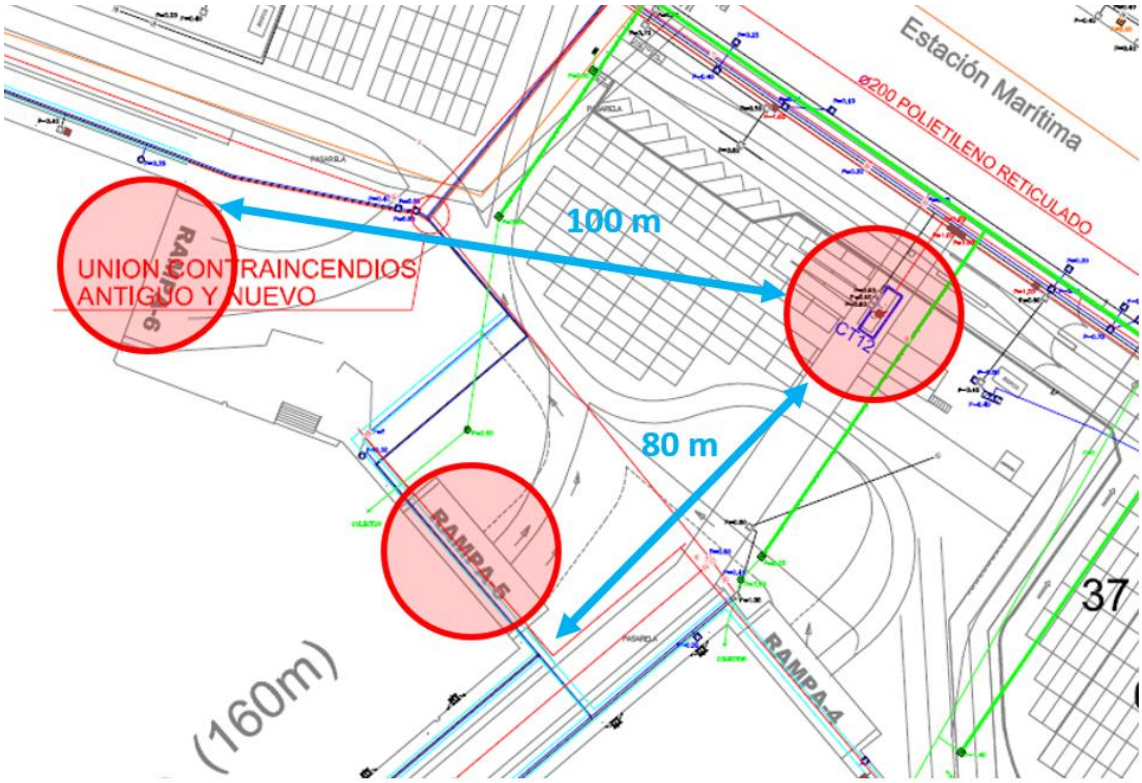


Figura 22. *Localización del CT12 en la cercanía de las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería.*

De esta manera, en la cercanía de las rampas A5 y A6 del Puerto de Almería se puede tener acceso a un punto de conexión. Sin embargo, este centro de transformación no dispone de la potencia suficiente para abastecer a los buques que atracan en estas rampas, por lo que sería necesario solicita a la empresa suministradora una ampliación de la potencia y así, poder abastecer eléctricamente a estos buques.

2. *Acondicionamiento de la energía eléctrica*

Para llevar cabo la conexión de los buques a la energía proveniente de la red general de energía eléctrica es necesario transformar y acomodar esta energía a las necesidades de los buques.

Los buques actualmente producen la energía con sus motores auxiliares quemando M.G.O y acoplando un generador eléctrico para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Esta energía eléctrica es volcada directamente a las barras del sistema eléctrico de los buques, que en este caso trabajan en baja tensión: 400 V. Por otra parte, la norma *IEC/ISO/IEEE 80005-1 – Utility connections in port* /3/ establece que la conexión eléctrica en alta tensión debe hacerse en el estándar de 6,6 kV u 11 kV.

Como ya hemos analizado previamente, para llevar a cabo la instalación de suministro eléctrico a los buques que atracan en las rampas A5 y A6 sería necesario realizar una ampliación de la potencia disponible en el Centro de Transformación CT12 disponible en las cercanías de estas rampas.

Una vez llevada a cabo esta ampliación, el siguiente paso es el acondicionamiento de la energía eléctrica en el que se adapta el voltaje de la red, siendo el transformador el equipo básico de esta etapa. Por otro lado, en la etapa de diseño se deben contemplar el nivel de tensión del circuito primario, tensión del circuito secundario y potencia aparente nominal del transformador.

Los equipos de transformación se deben albergar en un edificio preparado para ello, por lo que se requiere una instalación en puerto, en la cercanía del CT12. Principalmente, este edificio sirve para acomodar la acometida de la red, las protecciones de entrada y los transformadores de la instalación.

Por otro lado, hay que tener en cuenta el espacio necesario para la instalación de los equipos eléctricos de transformación. Según datos del propio fabricante, una edificación típica para alojar los equipos eléctricos necesarios para la transformación de la energía eléctrica tiene las medidas y características que se muestran en la Figura 23.

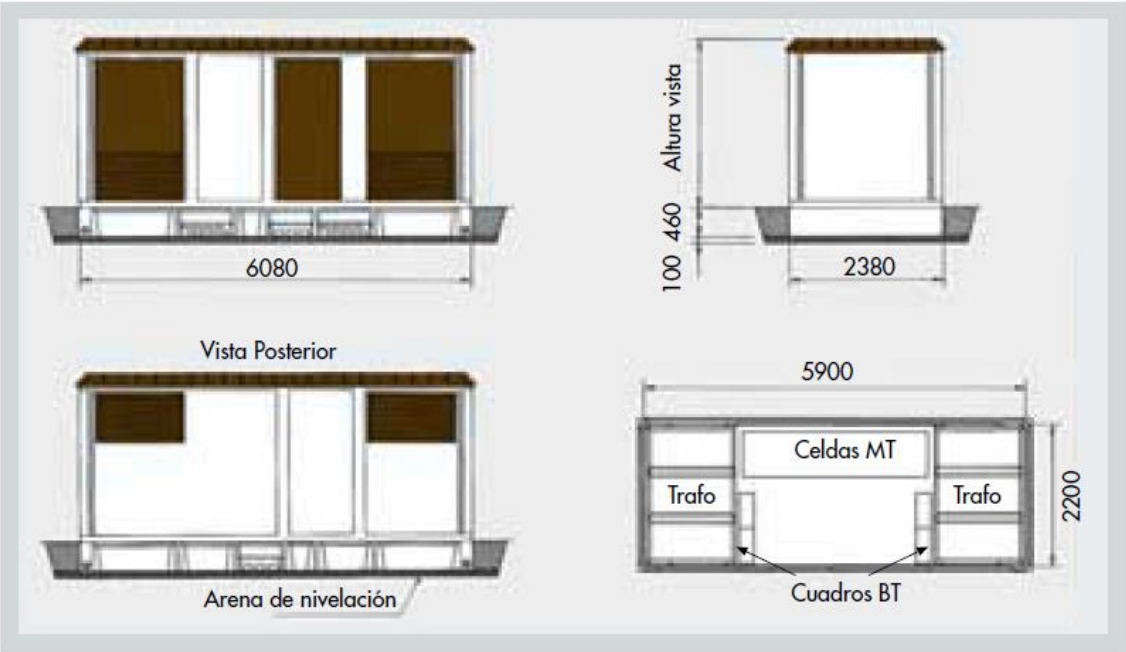


Figura 23. *Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal.*

Otro punto a tener en cuenta es la frecuencia de suministro del buque. Desde principios del siglo XX la frecuencia de generación, transporte y distribución se estableció a 60 Hz o 50 Hz, la primera se fijó como estándar en Estados Unidos y la segunda en Europa y Asia. Esto ha llevado en la actualidad a tener dos sistemas estandarizados de frecuencia en el transporte de energía eléctrica.

Los buques seleccionados (*Fortuny* y *Sorolla*) trabajan con una frecuencia de 50 Hz. Sin embargo, la instalación OPS en el Puerto de Almería ha sido dimensionada para que todos aquellos buques que realicen sus atraques en las rampas A5 y A6 puedan ser conectados a este sistema de suministro eléctrico. De esta manera, se han incluido en la configuración de los equipos eléctricos convertidores de frecuencia electrónicos 50/60 Hz y así tener una mayor flexibilidad a la hora de realizar la conexión eléctrica en los puntos de atraque seleccionados.

Finalmente, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas anteriormente, es necesario instalar un nuevo Sistema de Interconexión Red de Media Tensión 24 kV/50Hz del lado tierra hasta la tensión normalizada 6,6 kV y 50/60 Hz del lado buque a los que se va a llevar a cabo el suministro, comprendiendo los siguientes elementos:

- Aparamenta Media Tensión del lado de Tierra, con una tensión máxima de 36 kV y frecuencia 50 Hz.
- Aparamenta Media Tensión del lado del buque, con una tensión máxima de 12 kV y frecuencia 60 Hz.
- 2 convertidores de frecuencia electrónicos 50/60 Hz, con potencia máxima unitaria de 4,3 MVA. Integrados en 2 containers incluyendo sistema de refrigeración.
- 2 transformadores reductores, Tierra-Convertidor, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación en intemperie.
- 2 transformadores elevadores, Convertidor-Buque, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación en intemperie.
- Integración física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones en media tensión y control básico.

3. *Gestión de cables y conexión muelle-buque*

Existen diferentes configuraciones para llevar la potencia directamente a los buques desde el muelle. Estas conexiones deben ser accesibles a la vez que deben interferir lo menos posible las operaciones que se realizan normalmente en los muelles.

En el lado muelle de la instalación se ubican las conexiones donde deben ser conectados los cables que llevan la potencia a los equipos del buque. Estas conexiones pueden ser alojadas en pequeños habitáculos que albergan los puntos de contacto o, también, pueden ser llevados a un nivel superior mediante algún tipo de guindaste, fijo o móvil, que lleve consigo la toma al buque.

La opción seleccionada para este estudio de conexión eléctrica a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Almería es la grúa de manejo y elevación de los cables al buque.

El sistema de manejo de cables propuesto para la instalación del nuevo sistema OPS a buques Ro-Pax en Puerto de Almería consiste en una grúa diseñada por socios del mismo proyecto *Master Plan for OPS in Spanish Ports* y sus datos técnicos se pueden consultar en los entregables correspondientes a la Actividad 2.2. *"Analysis of technical alternatives and innovations"* según el AGREEMENT N. º INEA/CEF/TRAN/M2015/1128893.

Incluir las fotografías de las grúas tipo que nos envíe Julio.

En cuanto al diseño de la instalación OPS en los dos puntos potenciales (rampas A5 y A6) se ha estimado la ubicación para el punto de contacto en muelle o sistema de manejo de cables, tal y como se puede ver en la Figura 24 (rampa A5) y Figura 25 (rampa A6).

Figura 24. *Ubicación estimada para el punto de contacto en la rampa A5 del Puerto de Almería.*

Figura 25. *Ubicación estimada para el punto de contacto en la rampa A6 del Puerto de Almería.*

Tal y como se puede observar en las dos figuras anteriores, uno de los problemas principales es la cercanía de las pasarelas de acceso de los pasajeros, de tal manera que habrá que tener en cuenta que estas no deben ser obstruidas por los equipos eléctricos necesarios para la implementación del sistema OPS.

Otro de los problemas que se nos presentan es la inclinación de las rampas. Esto se puede ver en más detalle en los siguientes planos, donde se indican las medidas detalladas para cada una de las rampas estudiadas.

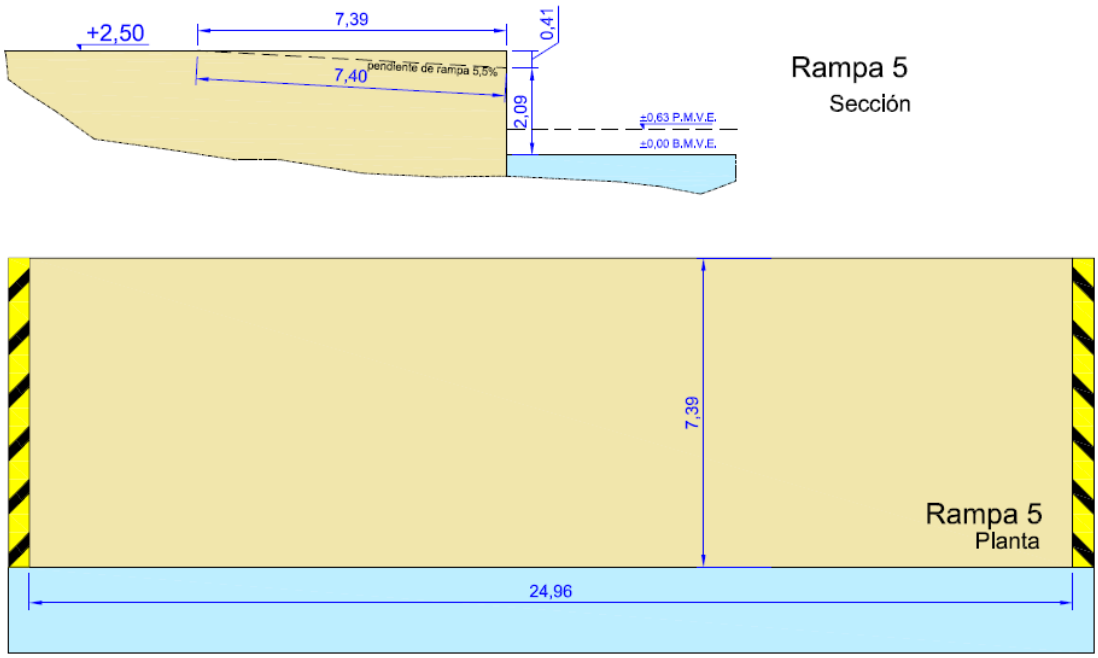


Figura 26. *Medidas detalladas de la rampa A5 para el atraque de Ferrys en el Puerto de Almería.*

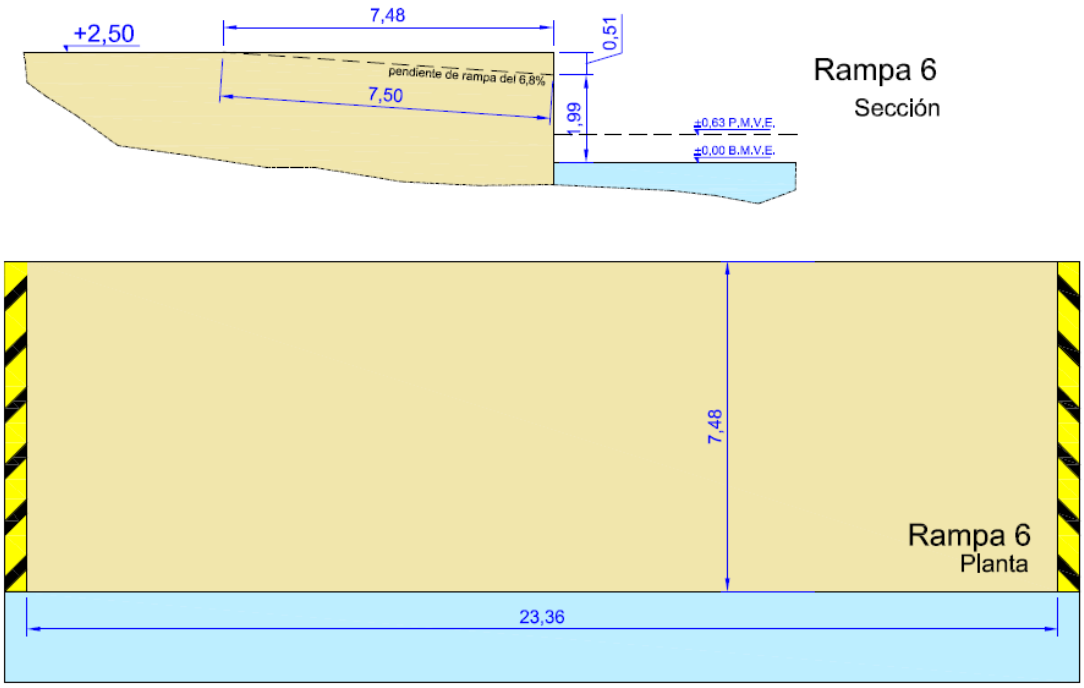


Figura 27. *Medidas detalladas de la Rampa 6 para el atraque de Ferrys en el Puerto de Almería.*

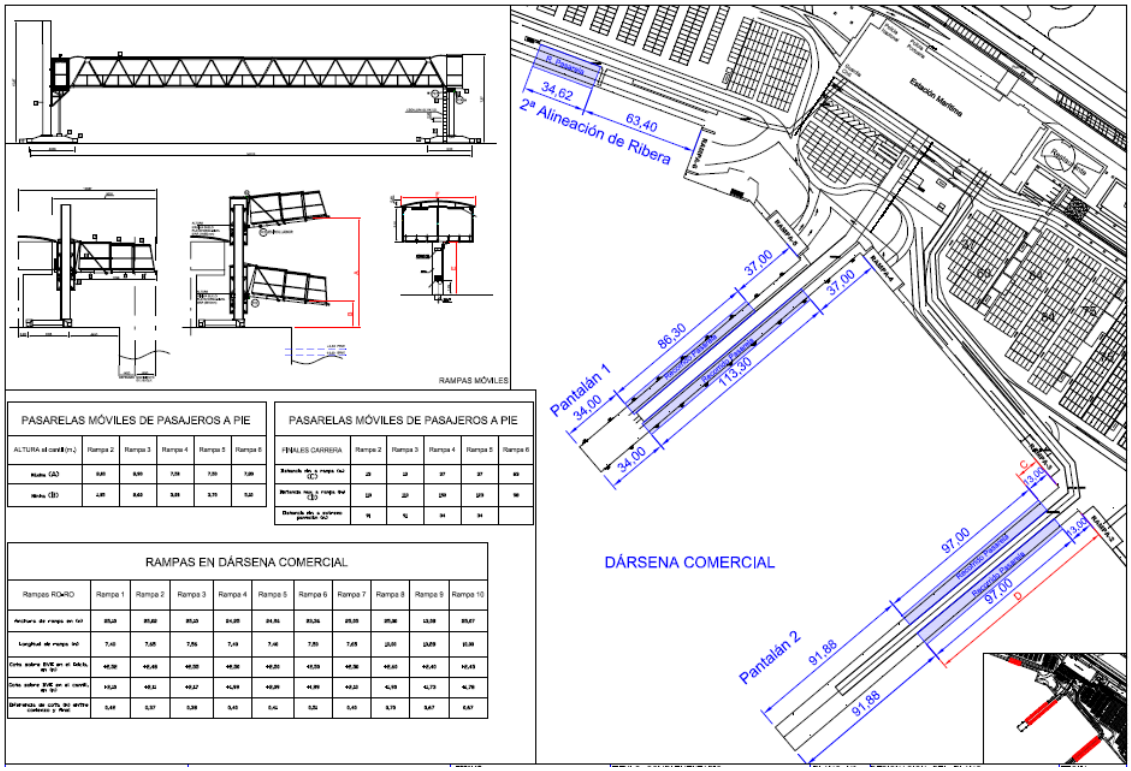


Figura 28. *Mapa detallado de las medidas para cada una de las rampas estudiadas en el Puerto de Almería.*

ANEXO 3. Rangos de afección en el Puerto de Almería.

Referencia	Radio	Población
2ª alineación de rivera – Pantalán 1	1 km	30.234

Referencia	Radio	Población
2ª alineación de rivera – Pantalán 1	2,5 km	130.824

Referencia	Radio	Población
2ª alineación de rivera – Pantalán 1	5 km	179.574

Referencia	Radio	Población
2ª alineación de rivera – Pantalán 1	15 km	279.296

Referencia	Radio	Población
2ª alineación de rivera – Pantalán 1	50 km	532.204

ANEXO 4. Metodología para el cálculo de las emisiones.

La reducción de las emisiones asociada a la desactivación de los motores auxiliares de los buques Ro-Pax en el Puerto de Málaga se ha calculado en función de la demanda energética anual, los factores de emisión de CO_2, NO_X, SO_X, PM_{10} y $PM_{2,5}$ y el mix eléctrico español.

En primer lugar, se han calculado las emisiones contaminantes que producen actualmente los buques seleccionados en el Puerto de Málaga, los cuales encienden sus motores auxiliares para llevar a cabo diferentes actividades mientras se encuentran atracados en puerto. Estos motores auxiliares se alimentan de combustibles fósiles que reducen la calidad del aire en las ciudades donde se sitúa el puerto y perjudican la salud de sus habitantes con residencia próxima al lugar de los atraques.

En este primer cálculo se han tenido en cuenta las siguientes hipótesis:

- Los motores auxiliares funcionan con combustible tipo MDO/MGO (no con HFO).
- Los motores auxiliares cumplen con las especificaciones de Tier II en cuanto a NO_x.
- Los motores auxiliares son de tipo “medium-speed diesel”.

Tabla 29. *Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Fuente: Poweratberth /9/.*

Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg)	Factor de Emisión (kg/kWh)
CO2	3,15 kg/kg valor medio de los propuestos por EEA y TUD	707 gr/kWh algo por encima de los 609 gr/kWh propuesto por TUD específicamente para auxiliares
SOx	2,1 gr/kg TUD: gr SOx/kg de fuel = 21 x % en masa de S en fuel	0,42 gr/kWh Valor medio entre UCA 4,3 gr/kWh y TUD 3,99 gr/kWh
NOx	86,5 kg/ton (EEA)	9,6 gr/kWh propuesto por TUD específicamente para motores auxiliares por debajo de los 13 ó 10 gr/kWh propuestos por EEA específicamente para motores auxiliares para Tier III
PM10	1,6 kg/ton (EEA)	0,32 gr/kWh
PM2,5	1,5 kg/ton (EEA)	0,3 gr/kWh

En la Tabla 29 se muestran los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Estos factores se han deducido a partir de las siguientes fuentes:

- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 IMO (EEA).
- Energy Demand and Exhaust Gas Emissions of Marine Engines. Technical University of Denmark (TUD).

Una vez conocida la potencia de los motores auxiliares, las horas de estadía y el factor de emisión de cada contaminante se calculan las emisiones a partir de la fórmula que aparece en la Figura 29.

$$Ei = AE * t * FEi$$

E emisiones del contaminante i (toneladas de contaminante)
AE potencia de los motores auxiliares (kW)
t tiempo (horas)
FE factor de emisión de cada contaminante (t/kWh)

Figura 29. *Ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones de cada contaminante.*

Por otro lado, se han calculado las emisiones asociadas al nuevo sistema de suministro eléctrico mediante una instalación OPS, el cual contribuye a la descarbonización del transporte. De esta manera, se ha tenido en cuenta el mix eléctrico español para llevar a cabo este cálculo.

En la Tabla 30 se muestra el balance eléctrico nacional correspondiente al año 2018 y que ha sido empleado para llevar cabo el cálculo de las emisiones asociadas a la implementación del nuevo sistema OPS de suministro eléctrico a los buques Ro-Pax en el Puerto de Málaga.

Tabla 30. *Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE.*

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Balance eléctrico anual nacional (GWh)

	2018
Hidráulica	20.822
Turbinación bombeo	1.378
Nuclear	25.388
Carbón	14.980
Fuel + Gas	3.239
Ciclo combinado (2)	12.640
Hidroeólica	12
Resto hidráulica (3)	-
Eólica	28.094
Solar fotovoltaica	3.882
Solar térmica	1.984
Térmica renovable(6)/Otras renovables	1.718
Cogeneración y resto(6)/Cogeneración	14.213
Residuos no renovables	1.188
Residuos renovables	401
Generación	**129.940**

ANEXO 5. Escenario alternativo para el estudio OPS en el Puerto de Almería.

A continuación se ha creado un escenario alternativo en el que se detallan los requerimientos por parte de la Autoridad Portuaria de Almería, en los cuales nos hemos basado para realizar este estudio de viabilidad:

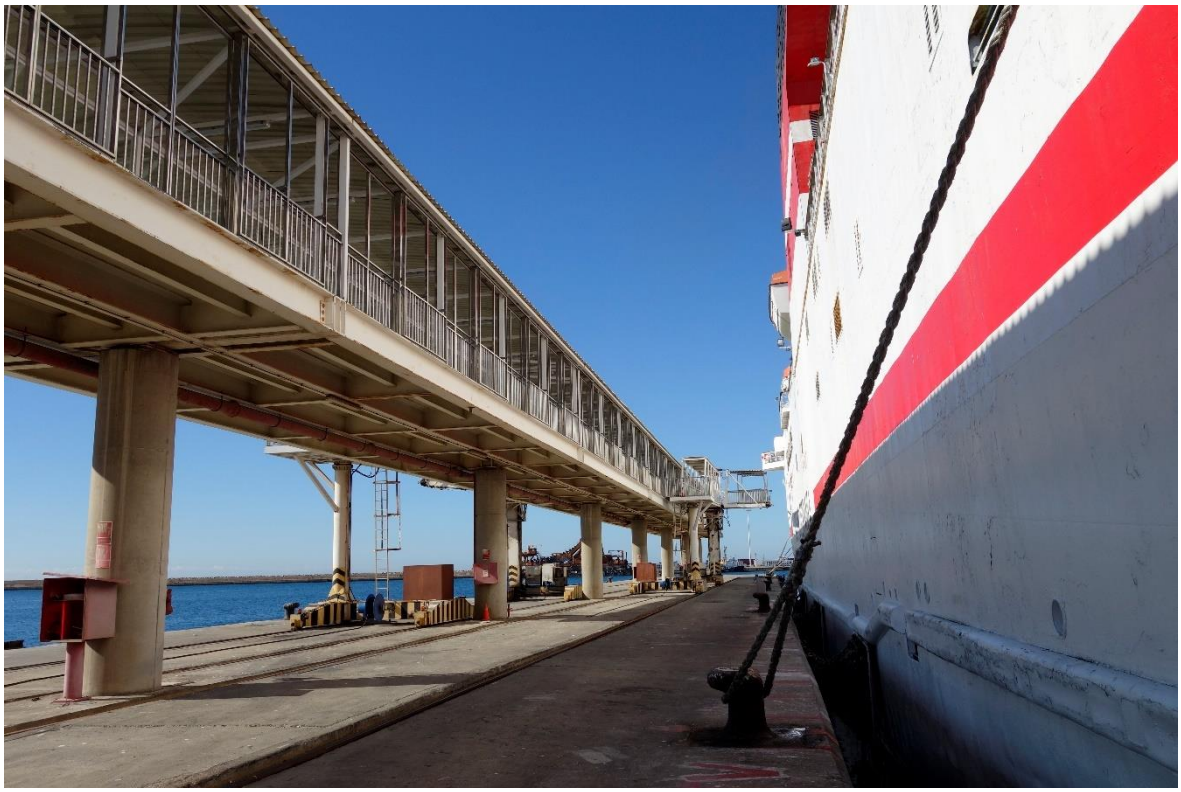
- ✓ Posibilidad de atraque simultáneo de varios buques, es decir, esto implica tener simultaneidad igual a 2 en los cálculos del estudio.
- ✓ Las dos rampas analizadas (A5 y A6) tienen una gran cantidad de atraques de buques tipo Ro-Pax. Los ferrys que atracan principalmente en estas dos rampas son: *Alcantara 2, Almariya, Fortuny, Juan J. Sister, Las Palmas de Gran Canaria, Sorolla, Volcan de Teno* y *Vronskiy.*
- ✓ Los buques escogidos para llevar a cabo este estudio han sido *Fortuny* y *Sorolla*. Esta elección se debe a las sinergias con el estudio realizado para los mismos buques en el Puerto de Málaga, de los cuales ya se han obtenido mediciones del consumo eléctrico que presentan. Sin embargo, el estudio ha sido dimensionado para que el sistema OPS de conexión eléctrica a buques pueda ser empleado por otros buques que atraquen en las rampas A5 y A6.
- ✓ Los buques *Fortuny* y *Sorolla* tienen una demanda energética igual a 3.148,9 MWh, lo cual equivale al ***26,8% de la demanda total***. Con el sistema OPS estos dos buques reducen 1.511 toneladas de CO_2. Si la conexión eléctrica se realizase para todos los buques que atracan en las rampas A5 y A6, se obtendría una reducción de 3.840,7 toneladas de CO_2, más del doble de las que se reducen únicamente con *Fortuny* y *Sorolla*. En la Tabla 31 y Tabla 32 se muestran los cálculos de demanda energética y reducción de emisiones para cada uno de los casos mencionados.

Tabla 31. *Demanda energética de los buques que atracan en las rampas A5 y A6.*

	DEMANDA ENERGÉTICA (MWh)
SOROLLA + FORTUNY	3.148,90
RESTO	8.003,91
TODOS	11.152,81

Tabla 32. *Reducción de emisiones de los buques que atracan en las rampas A5 y A6.*

REDUCCIÓN EMISIONES (Ton)	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2,5	% REDUCCIÓN
SOROLLA + FORTUNY	1.511,01	29,00	0,33	0,43	0,37	28,23%
RESTO	3.840,71	73,73	0,85	1,09	0,95	71,77%
TODOS	5.351,72	102,73	1,18	1,52	1,32	

- ✓ El dimensionamiento de este sistema ha sido realizado por tanto, para tener mayor flexibilidad en la conexión eléctrica de los buques, por lo que se han incluido equipos eléctricos como el convertidor de frecuencia 50/60 Hz, lo cual eleva considerablemente el presupuesto.
- ✓ Para poder realizar la conexión eléctrica de más buques que los estudiados (*Fortuny* y *Sorolla*) se ha dimensionado el sistema para que disponga de dos puntos de conexión en las rampas A5 y A6 en paralelo. De igual manera, se han situado dos grúas para el manejo de cables, una en cada rampa estudiada.

ANEXO 6. Visita a las instalaciones del Puerto de Almería.