



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 MÁLAGA



## ÍNDICE

Lista de Figuras .....	4
Lista de Tablas .....	5
1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. ALCANCE DEL ESTUDIO .....	8
3. ESCENARIO OBJETIVO EN EL PUERTO DE MÁLAGA.....	9
3.1. BUQUES OBJETIVO .....	9
3.2. MUELLE OBJETIVO.....	11
4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS.....	13
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA .....	14
4.2. SOLUCIÓN RECOMENDADA .....	15
4.2.1. Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh).....	16
4.2.2. Voltaje y frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle.....	16
4.2.3. Potencia instalada necesaria para la instalación eléctrica en muelle .....	16
4.2.4. Factor de picos de demanda .....	17
4.2.5. Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en muelle .....	17
5. BENEFICIOS SOCIALES DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN OPS .....	19
5.1. ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES .....	20
5.2. REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO .....	21
6. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO.....	24
6.1. INVERSIÓN.....	24
6.1.1. Coste de la inversión en muelle .....	25
6.1.2. Coste de la inversión del sistema de manejo de cables.....	26
6.1.3. Coste de la inversión en los buques .....	27
6.2. GASTO OPERACIONAL .....	27
6.2.1. Gasto anual de suministro de energía eléctrica.....	28
6.2.2. Gasto anual para personal de operación .....	29
6.2.3. Gasto anual de mantenimiento.....	29

6.3.	OTROS FACTORES E IMPACTOS ECONÓMICOS .....	29
6.3.1.	Monetización de las emisiones .....	30
6.3.2.	Bonificación de la tasa T-1.....	30
6.4.	ESTUDIO DE RENTABILIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	32
6.4.1.	Rentabilidad del sistema OPS sin financiaciones .....	32
6.4.2.	Rentabilidad del sistema OPS con financiaciones.....	33
7.	RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	35
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
	ANEXO 1. Análisis detallado del tráfico de buques en el Puerto de Málaga. ....	40
	ANEXO 2. Configuración de los componentes de una instalación OPS .....	44
	ANEXO 3. Rangos de afección en el Muelle Nº2 del Puerto de Málaga .....	49
	ANEXO 4. Metodología para el cálculo de las emisiones.....	50
	ANEXO 5. Visita a las instalaciones del Puerto de Málaga.....	53

Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques. ....	7
<b>Figura 2.</b> Vista aérea del Puerto de Málaga. ....	9
<b>Figura 3.</b> Buques tipo Ro-Pax de Armas - Transmediterránea: Fortuny (izquierda) y Sorolla (derecha). ....	10
<b>Figura 4.</b> Ubicación para el nuevo sistema OPS a buques Ro-Pax en el Puerto de Málaga. ....	12
<b>Figura 5.</b> Distribución de la red de suministro a buques en el Puerto de Málaga. ....	14
<b>Figura 6.</b> Potencia media y máxima (kW) del buque Fortuny en el Puerto de Málaga. ....	15
<b>Figura 7.</b> Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle. ....	18
<b>Figura 8.</b> Rangos de afección según distancia en el Puerto de Málaga. (Ver ANEXO 3).....	20
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS. ....	21
<b>Figura 10.</b> Ficha descriptiva de las mediciones realizadas a buques tipo Ro-Pax. ....	23
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de reducción de las emisiones (%) asociadas al nuevo sistema OPS. ....	36
<b>Figura 12.</b> Distribución de los atraques por tipo de buque. ....	40
<b>Figura 13.</b> Distribución diaria de los atraques en el Puerto de Málaga. ....	41
<b>Figura 14.</b> Componentes principales de una instalación OPS en puerto. ....	44
<b>Figura 15.</b> Localización de la subestación en la cercanía del muelle N-3.2 del Puerto de Málaga. ....	45
<b>Figura 16.</b> Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal. ....	47
<b>Figura 17.</b> Ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones de cada contaminante. ....	51

Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Datos técnicos de los buques Fortuny y Sorolla.....	10
<b>Tabla 2.</b> Datos operacionales de los buques Fortuny y Sorolla. ....	11
<b>Tabla 3.</b> Demanda eléctrica anual de los buques Fortuny y Sorolla. ....	16
<b>Tabla 4.</b> Relación entre la demanda de potencia media y máxima. Fuente: /6/.....	17
<b>Tabla 5.</b> Resultados y solución recomendada para suministro eléctrico a Ro-Pax en el Puerto de Málaga.....	19
<b>Tabla 6.</b> Reducción de emisiones asociada a la sustitución de los motores auxiliares por el sistema OPS.....	20
<b>Tabla 7.</b> Mediciones de potencia sonora de los motores auxiliares y equipos de ventilación de los buques Ro-Pax. ....	22
<b>Tabla 8.</b> Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS....	24
<b>Tabla 9.</b> Comparativa de la inversión en muelle entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. ....	25
<b>Tabla 10.</b> Coste de la inversión de equipos eléctricos para implantación de OPS en el Puerto de Málaga.....	26
<b>Tabla 11.</b> Inversión estimada para el sistema de manejo de cables.....	26
<b>Tabla 12.</b> Costes de inversión en los buques para su adaptación al nuevo sistema OPS. ....	27
<b>Tabla 13.</b> Comparativa de los gastos anuales entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. ....	28
<b>Tabla 14.</b> Gasto anual de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Málaga. .	28
<b>Tabla 15.</b> Gasto anual de mantenimiento para los motores auxiliares en el sistema actual. ....	29
<b>Tabla 16.</b> Monetización de las emisiones contaminantes del sistema actual y del nuevo sistema OPS. ....	30
<b>Tabla 17.</b> Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS. ....	31
<b>Tabla 18.</b> Comparativa económica con la monetización de las emisiones y la bonificación de la tasa T-1.....	32
<b>Tabla 19.</b> Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS sin financiaciones. ....	33
<b>Tabla 20.</b> Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones. ....	34
<b>Tabla 21.</b> Resumen y conclusiones de los datos técnicos de la nueva instalación OPS. ....	35
<b>Tabla 22.</b> Reducción de emisiones asociadas al nuevo sistema OPS.....	35
<b>Tabla 23.</b> Reducción de ruido asociado al nuevo sistema OPS.....	36
<b>Tabla 24.</b> Cálculos económicos y comparativa entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. ....	37
<b>Tabla 25.</b> Análisis de la rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS en el Puerto de Málaga. .	38

<b>Tabla 26.</b> Datos básicos de los atraques por tipo de buque. ....	40
<b>Tabla 27.</b> Valores umbral para el filtrado de buques.....	42
<b>Tabla 28.</b> Buques de pasajeros que pasan el filtro. ....	42
<b>Tabla 29.</b> Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Fuente: Poweratberth /9/.....	50
<b>Tabla 30.</b> Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE.....	52

## 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 Connecting 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.

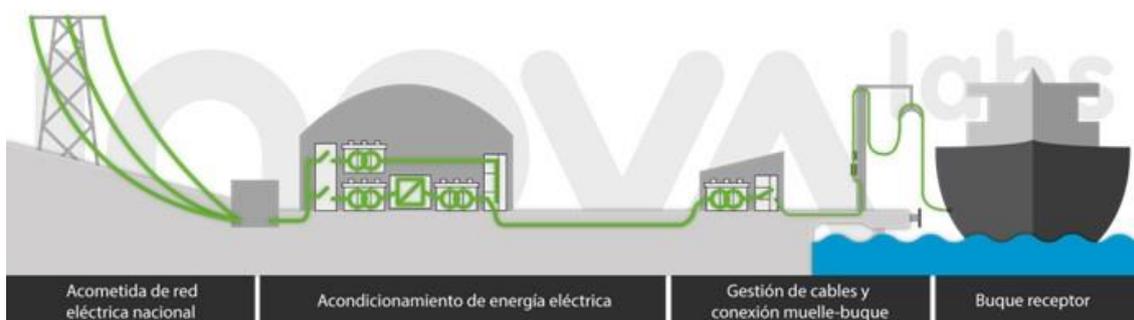


Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques.

## 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/OGSP: 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 MÁLAGA

En el Puerto de Málaga 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 Málaga.*

En el mes de octubre de 2017 el equipo de Inova Labs ha realizado una visita a las instalaciones del Puerto de Málaga. Durante esta visita 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 5. Visita a las instalaciones del Puerto de Málaga. se han incluido algunas de las fotografías tomadas durante esta visita.

#### 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 Málaga, en el que se ha obtenido que los buques de pasajeros son los que presentan un mayor consumo potencial en puerto que los de carga.

Finalmente, de forma conjunta con la Autoridad Portuaria, se ha identificado como buques idóneos para la conexión eléctrica en muelle: **Fortuny y Sorolla** (Figura 3) <sup>1</sup>. Se trata de buques

---

<sup>1</sup> 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.

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 Málaga 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.

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

NOMBRE DEL BUQUE	FORTUNY	SOROLLA
Tipo de buque	Ro-Pax	Ro-Pax
Número IMO	9216585	9217125
Año de construcción	2001	2001
Propietario	Acciona Transmediterránea	Acciona Transmediterránea
Eslora (m)	172,00	174,00
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 Málaga 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. Como resultado de este análisis se obtiene que los valores de las estancias se mantienen prácticamente constantes en los años analizados, por lo que el perfil operativo no presenta grandes variaciones. Esto es debido a que los buques seleccionados realizan atraques semanales frecuentes: *Fortuny* atraca 5 días a la semana, mientras que *Sorolla* atraca 1 día a la 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	312	52
Horas totales en atraque 2017 (h)	3.050,00	208,50
Duración media del atraque (h)	9,78	4,01
Potencia eléctrica media en atraque (kW)	2.579,32	2.579,32
Demanda eléctrica anual a bordo (kWh)	7.866.926	537.788
Tasa T1 atraque en puerto	697.779,93 €	47.684,01 €
Cantidad de MGO consumida en atraque (Ton)	1.455,38	99,49

### 3.2. MUELLE OBJETIVO

En el Puerto de Málaga, la ubicación adecuada para la implementación del nuevo sistema OPS para los buques anteriormente seleccionados es el muelle “Cánovas” N-3.2, el cual da servicio a los buques tipo Ro-Pax/Ferry encargados de operar la ruta Málaga-Melilla.

La zona de actuación escogida es el muelle 3, “Cánovas”, concretamente el N-3.2, dedicado al tráfico de pasajeros. Los buques escogidos en el estudio atracan de forma no simultánea en el mismo punto del muelle, por lo que para suministrar eléctricamente a estos buques únicamente sería necesario implementar **un punto de conexión**, lo que conlleva considerar **simultaneidad igual a 1** en los cálculos.

En la Figura 4 se muestra un mapa del Puerto de Málaga, 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 Málaga.

#### 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 Málaga, el punto más cercano para la acometida de la empresa distribuidora es el ***Centro de Transformación situado en el edificio de la Estación Marítima***, en el corazón del muelle Cánovas, en el que se puede tener acceso a un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los buques planteados y con una tensión disponible igual a 20 kV.

Para el suministro a buques, es necesario ubicar una nueva localización que albergue los equipos necesarios para acondicionar la energía eléctrica, desde los 20 kV disponibles en la Estación Marítima hasta los 6,6 kV a los que se va a llevar a cabo el suministro. En este caso particular, se propone la instalación del sistema de suministro de forma compacta en el interior de un habitáculo donde se alojarán los equipos eléctricos para llevar a cabo el suministro de electricidad, lo cual abarata significativamente los costes de inversión. 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 sistema de acondicionamiento de la energía eléctrica hasta el buque es necesario incluir en la instalación un sistema de manejo de cables en muelle.

La configuración final de la infraestructura de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el muelle N-3.2 del Puerto de Málaga es la que se plantea en la Figura 5.

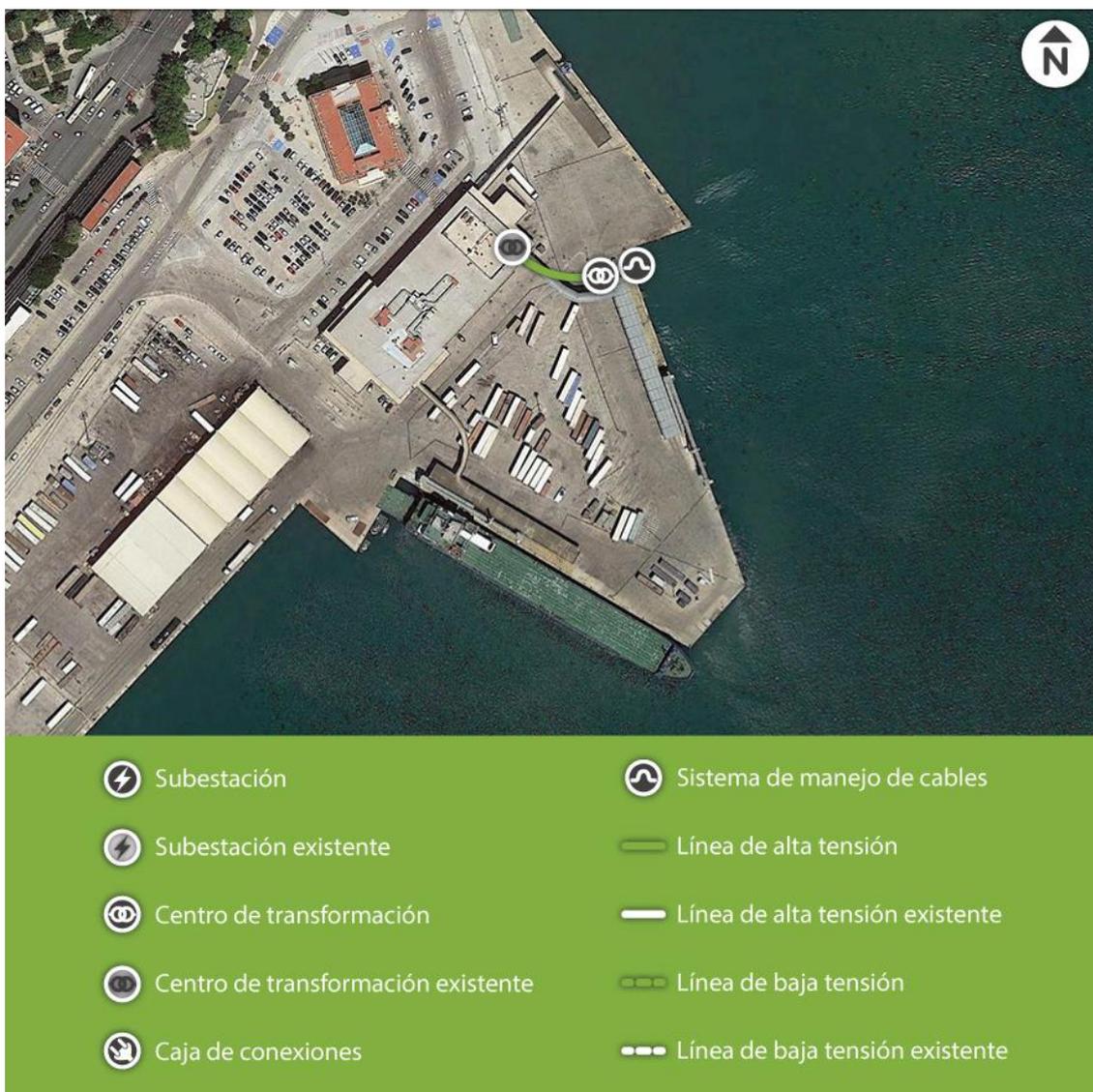


Figura 5. Distribución de la red de suministro a buques en el Puerto de Málaga.

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 Málaga.

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

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

El buque **Fortuny** hace 6 atraques a la semana en el Puerto de Málaga: 5 días (de martes a sábado) en horario de 7:00h a 15:30h y 1 día (domingo) en horario de 7:00h a 23:00h. Sin embargo, el buque **Sorolla** hace 1 sólo atraque semanal en horario de 20:00h a 24:00h.

De esta manera, para conocer la demanda energética correspondiente a los dos buques se han obtenido mediciones de la potencia consumida por uno de los buques. La Figura 6 muestra los datos correspondientes al consumo eléctrico medio y máximo (kW) medidos en el buque *Fortuny*, durante uno de sus periodos de atraque (7:00h-15:30h) en el Puerto de Málaga.

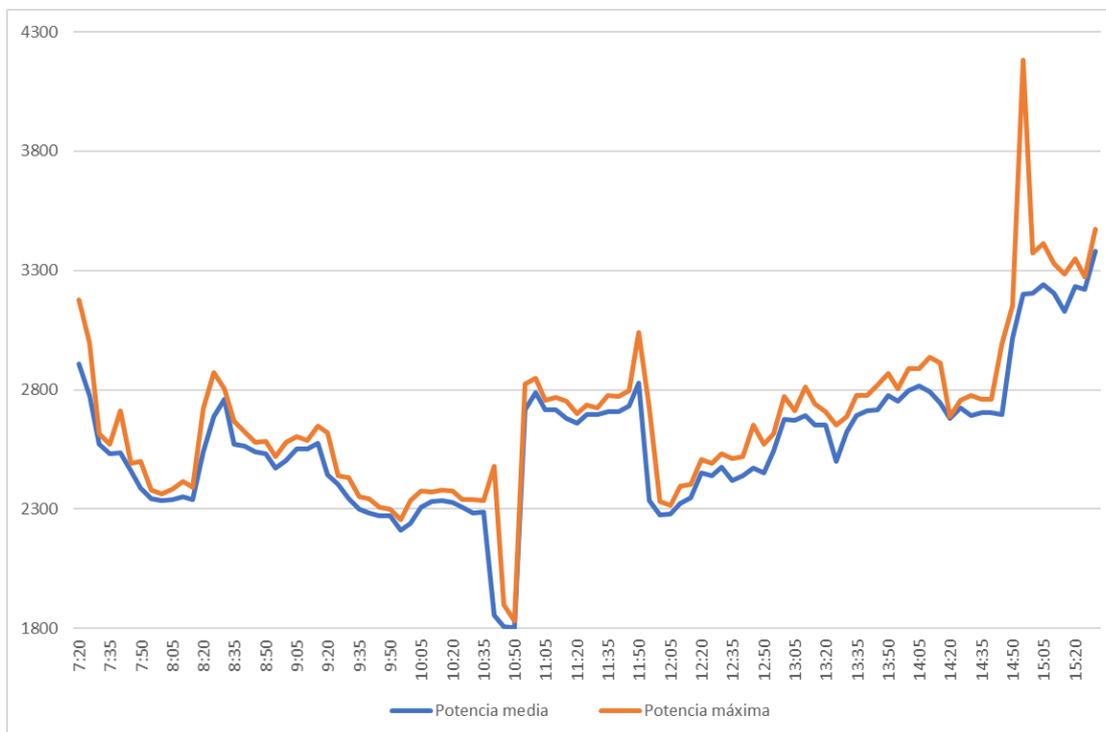


Figura 6. Potencia media y máxima (kW) del buque *Fortuny* en el Puerto de Málaga.

Según las mediciones realizadas que podemos ver en la Figura 6, el mayor valor de potencia media se produce a las 15:30 h, mientras que el valor mínimo se produjo a las 10:50h. Finalmente, se ha obtenido la potencia media consumida por los buques 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 Málaga, 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 6 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 muelle N-3.2 del Puerto de Málaga 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 de todo el año.

Tabla 3. Demanda eléctrica anual de los buques *Fortuny* y *Sorolla*.

DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL (MWh)		
BUQUES	FORTUNY	SOROLLA
Horas anuales en atraques (h)	3.050,00	208,50
Potencia eléctrica media en atraque (kW)	2.579,32	2.579,32
Demanda eléctrica anual a bordo (MWh)	7.866,93	537,79
	<b>8.404,71</b>	<b>MWh</b>

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 de energía eléctrica anual de **8.405 MWh**, siendo el mayor de ellos el buque *Fortuny*, con un valor igual a **7.867 MWh**, mientras que el buque *Sorolla* tiene una demanda anual de **538 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 que se producen a lo largo de un año se recomienda el suministro a **6,6 kV**.

Por otro lado, la instalación deber ser capaz de suministrar a una frecuencia de **50 Hz**, ya que los buques seleccionados trabajan en este valor de frecuencia.

#### 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 a bordo del buque representadas en la Figura 6, de tal manera que la potencia media correspondiente tiene un valor de **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 pasajeros y vehículos, 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 poder llevar a cabo el suministro eléctrico a los buques en puerto.

#### 4.2.5. Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en muelle

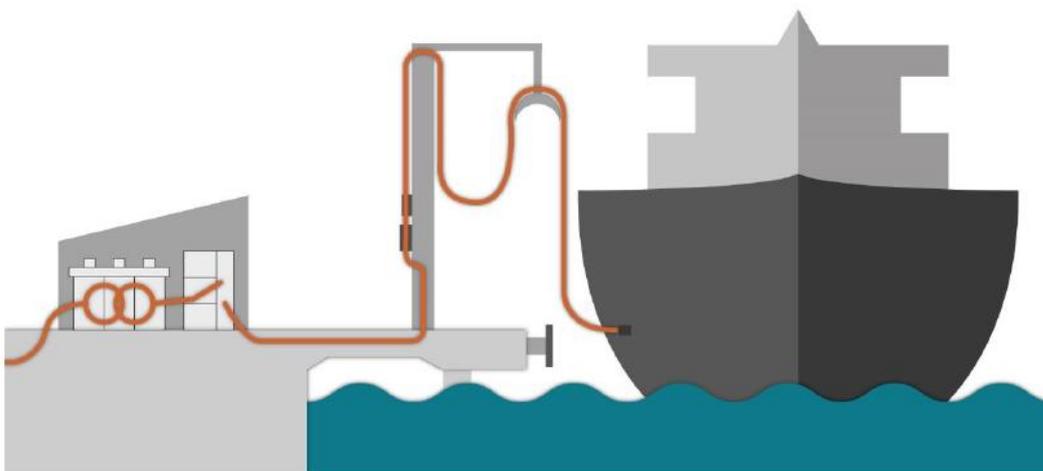
Tal y como se ha comentado anteriormente, en el muelle Cánovas se puede tener acceso a un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los buques planteados y con una tensión disponible igual a 20 kV.

De esta manera, es necesario instalar un nuevo **Sistema de Interconexión Red de Media Tensión** 24 kV/50 Hz del lado de tierra y disponible en la Estación Marítima, hasta la tensión normalizada

6,6 kV y 50 Hz del lado buque (ISO 80005) a los que se va a llevar a cabo el suministro, comprendiendo los siguientes elementos:

- Aparata Media tensión del lado de tierra, con una tensión máxima de 24 kV y frecuencia de 50 Hz.
- Aparata Media tensión del lado del buque, con una tensión máxima de 12 kV y frecuencia de 50 Hz.
- 1 transformador reductor, Tierra-buque, potencia de 4,3 MVA, con cambiador de tomas automático y PLC asociado (cumpliendo con la norma ISO 80005), dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.
- Integración física/eléctrica de la aparata de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones de media tensión y control básico.

Por otro lado, es necesario establecer la conexión entre este Sistema de Interconexión Red de Media Tensión y la unión con la grúa que permite el manejo de los cables, tal y como podemos ver en la Figura 7.



**Figura 7.** 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 de OPS a los buques tipo Ro-Pax del Puerto de Málaga.

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

RESULTADOS Y SOLUCIÓN RECOMENDADA	
Buques objetivo	<i>Fortuny y Sorolla</i>
Ubicación de la instalación	Muelle N-3.2
Simultaneidad de conexión a OPS/Número puntos de conexión	1
Número de atraques anuales	364
Horas de atraque anuales/Tiempo total conectado a OPS (h/año)	3.258,50
Cantidad de MGO consumida actualmente en atraque sin OPS (Ton)	1.554,87
Total demanda eléctrica durante un año (MWh)	8.404,71
Perfil de potencia media y máxima (kW) durante la estancia en muelle	Ver Figura 6
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

## 5. BENEFICIOS SOCIALES DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN OPS

Las áreas portuarias suelen estar ubicadas en las principales ciudades, y por tanto, cerca de los hábitats humanos. De esta manera, la reducción de las emisiones en los puertos es de vital importancia, así como la eliminación del impacto acústico gracias a la desactivación de los motores auxiliares de los buques. A continuación, se estudian estos beneficios sociales y como afectan a la población según la distancia a la que se encuentran (Figura 8).



**Figura 8.** Rangos de afección según distancia en el Puerto de Málaga. (Ver ANEXO 3. Rangos de afección en el Muelle N.º2 del Puerto de Málaga)

En el ANEXO 3. Rangos de afección en el Muelle N.º2 del Puerto de Málaga se incluyen mapas adicionales con las diferentes distancias y rangos de afección tomando como punto de referencia el muelle seleccionado en el estudio para el Puerto de Málaga.

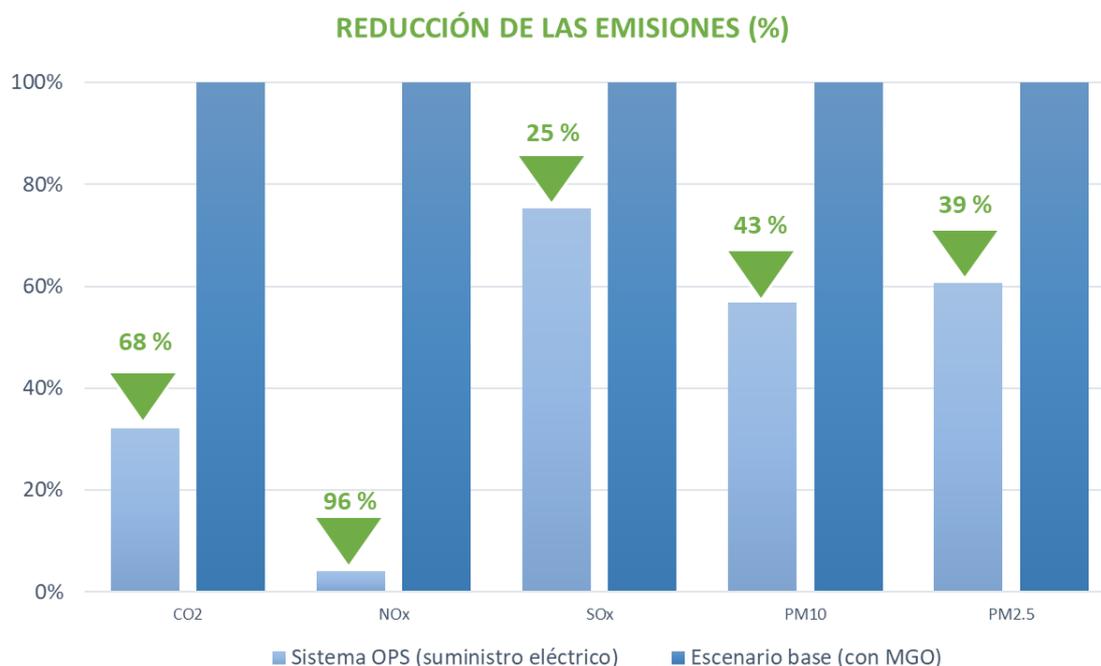
### 5.1. ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

En este apartado se va a estudiar la reducción de las emisiones gracias 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 **8.404,71 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<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 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)	5.942,13	80,69	3,53	2,69	2,52
Sistema OPS (suministro eléctrico)	1.909,08	3,27	2,66	1,53	1,53
<b>% Reducción de emisiones</b>	<b>-67,9%</b>	<b>-95,9%</b>	<b>-24,6%</b>	<b>-43,1%</b>	<b>-39,3%</b>



**Figura 9.** Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS.

Por otro lado, en la Figura 9 podemos observar la reducción de las emisiones que supondría la instalación de suministro eléctrico a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Málaga, sustituyendo al actual sistema compuesto por los motores auxiliares que actualmente funcionan con MGO.

En el ANEXO 4. 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 Málaga.

## 5.2. REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO

La reducción del impacto acústico asociado a la implantación del nuevo sistema OPS se ha estimado a partir de un estudio realizado por Tecnalía: *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.

La Tabla 7 muestra los niveles de potencia sonora obtenidos para cada caso, así como los beneficios acústicos del Cold Ironing.

**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
<b>Ro-Ro Pasajeros</b>	115	113	2,0

En la Figura 10 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.

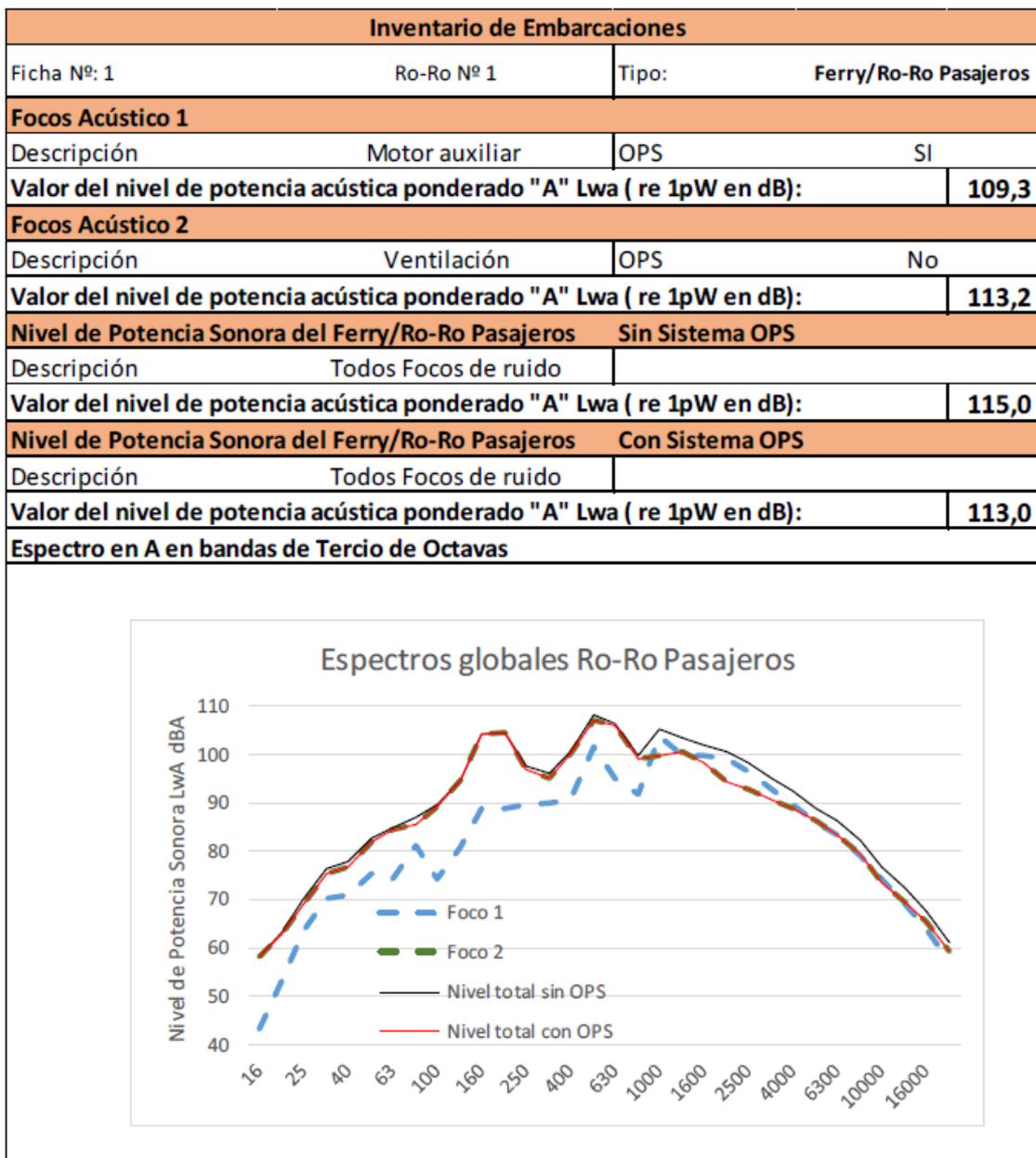


Figura 10. Ficha descriptiva de las mediciones realizadas a buques tipo Ro-Pax.

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 Málaga 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 los buques tipo Ro-Pax seleccionados en el Puerto de Málaga. 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	
<b>INVERSIÓN EN MUELLE</b>	<b>-520.433</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<i>Inversión en los equipos eléctricos</i>	<i>-520.433</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<b>INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES</b>	<b>-150.000</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<b>INVERSIÓN EN LOS BUQUES *</b>	<b>-337.933</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<i>Sistema eléctrico</i>	<i>-239.933</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<i>Costes de homologación</i>	<i>-40.000</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<i>Otros costes</i>	<i>-58.000</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<b>GASTOS ANUALES</b>	<b>1.082.713</b>	<b>€/año</b>	<b>883.465</b>	<b>€/año</b>
<i>Gasto anual de energía</i>	<i>1.047.304</i>	<i>€/año</i>	<i>852.183,03</i>	<i>€/año</i>
<i>Gasto anual de operación</i>	<i>25.000</i>	<i>€/año</i>	<i>0,00</i>	<i>€/año</i>
<i>Gasto anual de mantenimiento</i>	<i>10.409</i>	<i>€/año</i>	<i>31.281,60</i>	<i>€/año</i>

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

A continuación, se desglosa cada uno de los cálculos económicos indicados 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 Málaga se desglosa en tres tipos:

- La inversión en muelle en la que se incluyen los equipos eléctricos necesarios para el acondicionamiento de la energía eléctrica proveniente de la red eléctrica nacional.
- La inversión en el sistema de manejo de cables que va 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	
<b>INVERSIÓN EN EL MUELLE</b>	<b>-520.433</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<i>Inversión en los equipos eléctricos</i>	<i>-520.433</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<b>INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES</b>	<b>-150.000</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<b>INVERSIÓN EN LOS BUQUES *</b>	<b>-337.933</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<i>Sistema eléctrico</i>	<i>-239.933</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<i>Costes de homologación</i>	<i>-40.000</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<i>Otros costes</i>	<i>-58.000</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<b><i>Inversión en cada buque</i></b>	<b><i>-337.933</i></b>	<b><i>€</i></b>	<b><i>0,00</i></b>	<b><i>€</i></b>
<b><i>Número de buques</i></b>	<b><i>2</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>0</i></b>	<b><i>-</i></b>

\* Se incluye la inversión de 1 buque, ya que en los casos OPS Málaga y Almería se conectan los mismos buques (Sorolla y Fortuny) 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 Málaga incluye un **Sistema de Interconexión Red de Media Tensión**, como el descrito en el apartado *Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en muelle*, con una tensión de lado Tierra 24 kV/50 Hz y del lado buque a tensión normalizada 6,6 kV.

Por otro lado, también se ha incluido el presupuesto de la conexión desde el sistema de interconexión de Red de Media Tensión hasta el sistema de manejo de cables, en el que se ha tenido en cuenta una distancia de 20 metros según la distribución de la red de suministro ya vista en la Figura 5.

**Tabla 10.** Coste de la inversión de equipos eléctricos para implantación de OPS en el Puerto de Málaga.

INVERSIÓN EN EL MUELLE			
<b>EQUIPOS ELÉCTRICOS</b>			<b>520.433 €</b>
<b>SISTEMA DE INTERCONEXIÓN RED DE MEDIA TENSIÓN</b>			
<i>Aparamenta Media tensión lado tierra, tensión máxima 24 kV y 50 Hz</i> <i>Aparamenta Media tensión lado buque, tensión máxima 12 kV y 50 Hz</i> <i>1 Transformador reductor, Tierra-buque, 4,3 MVA potencia, con cambiador de tomas automático y PLC asociado, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.</i> <i>Integración física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado</i> <i>Sistema de protecciones en media tensión y control básico</i>			465.000 €
<b>CONEXIÓN CT/BUQUE</b>			<b>Precio/unidad      Precio</b>
	<i>Arqueta prefabricada de hormigón</i>	<i>5 uds.</i>	<i>5.333 €</i>
	<i>20 metros de canalización A.T. 50 Hz</i>	<i>€/m</i>	<i>2.211 €</i>
	<i>20 metros de cable A.T. 12/20 kV, 1x240 mm<sup>2</sup></i>	<i>€/m</i>	<i>302 €</i>
	<i>20 metros de cable A.T. 6/10 kV 1x150 mm<sup>2</sup></i>	<i>€/m</i>	<i>275 €</i>
<b>TRABAJOS DE OBRA CIVIL (10%) **</b>			<b>47.312 €</b>

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

\*\* 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 Málaga están estimadas en base a un presupuesto preliminar recibido de un fabricante.

#### 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 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.

En la Tabla 11 se muestra una estimación de la inversión necesaria para este sistema de manejo de cables diseñado.

**Tabla 11.** Inversión estimada para el sistema de manejo de cables.

SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	150.000 €
-----------------------------	-----------

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 dos ferries seleccionados: *Fortuny* y *Sorolla*. En la Tabla 12 se muestra el desglose de costes de los materiales necesarios para llevar a cabo la transformación de la energía eléctrica.

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

<b>INVERSIÓN EN LOS BUQUES</b>				
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>				<b>239.933 €</b>
Concepto	Cantidad		Precio/unidad	Precio
<i>Transformador 3 MVA 6,6/0,4 kV</i>	1	<i>ud</i>	201.500 €	201.500 €
<i>Conectores</i>	1	<i>ud</i>	1.048 €	1.048 €
<i>Contactores y seccionadores</i>	1	<i>ud</i>	4.250 €	4.250 €
<i>Compartimento para el transformador</i>	1	<i>ud</i>	6.688 €	6.688 €
<i>Sistema de sincronización</i>	1	<i>ud</i>	23.000 €	23.000 €
<i>Equipo de control a bordo</i>	1	<i>ud</i>	3.447 €	3.447 €
<i>Costes sistema eléctrico</i>				239.933 €
<i>Costes de homologación</i>				40.000 €
<i>Otros costes</i>				58.000 €
<b>COSTE TOTAL POR BUQUE</b>				<b>337.933 €</b>
<i>Número de buques</i>				2
<b>COSTE TOTAL DE LA INVERSIÓN EN LOS BUQUES</b>				<b>337.933 €</b>

Tal y como podemos observar en la Tabla 12, se incluye únicamente el coste de inversión para 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 un 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 Málaga 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	
<b>GASTOS ANUALES</b>	<b>1.082.713</b>	<b>€/año</b>	<b>883.465</b>	<b>€/año</b>
<i>Gasto anual de energía</i>	1.047.304,15	€/año	852.183,03	€/año
<i>Gasto anual de operación</i>	25.000,00	€/año	0,00	€/año
<i>Gasto anual de mantenimiento</i>	10.408,65	€/año	31.281,60	€/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 **8.404,71 MWh**, se ha obtenido el importe del suministro eléctrico estimado para la instalación OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Málaga. 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 Málaga.

<b>POTENCIA MEDIA TARIFA 6.1</b>	
<i>Facturación anual sin IVA</i>	865.540,62 €
<i>Impuesto sobre el valor añadido</i>	181.763,53 €
<i>Importe facturación anual</i>	1.047.304,15 €
<b>Consumo (kWh)</b>	<b>8.404.714,22</b>
<i>Precio eléctrico medio sin IVA (€/kWh)</i>	0,1246

El gasto anual de suministro de energía eléctrica con el nuevo sistema OPS es de **1.047.304 €**. Este se ha comparado con el gasto actual asociado al suministro de MGO, obteniendo un valor de **852.183 €**. De esta manera, se puede concluir que el nuevo gasto asociado al sistema OPS es **195.000 €** 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 inicialmente en el muelle. De esta manera, se estima un gasto anual de **10.409 €**.

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 calculado para el caso actual con MGO a partir de la herramienta "[OPS calculation tool](#)" de WPCI (World Ports Climate Initiative) /5/. 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	31.282	€/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	3.258,50	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<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 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<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y partículas (PM). De esta manera, se ha establecido una comparativa entre las emisiones producidas por los motores auxiliares de los buques alimentados con 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		1.912,35	Tons/año	6.022,82	Tons/año
	CO <sub>2</sub>	1.909,08	Tons/año	5.942,13	Tons/año
	NO <sub>x</sub>	3,27	Tons/año	80,69	Tons/año
	SO <sub>x</sub>	2,66	Tons/año	3,53	Tons/año
	PM10	1,53	Tons/año	2,69	Tons/año
	PM2.5	1,53	Tons/año	2,52	Tons/año

COSTE DE LAS EMISIONES					
*	CO <sub>2</sub>	10	€/Ton	10	€/Ton
*	NO <sub>x</sub>	1.000	€/Ton	1.000	€/Ton
*	SO <sub>x</sub>	5.600	€/Ton	5.600	€/Ton
*	PM10	26.000	€/Ton	26.000	€/Ton
*	PM2.5	26.000	€/Ton	26.000	€/Ton

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

EMISIONES CONTAMINANTES - Monetización		22.360,80	€/año	140.111,30	€/año
	CO <sub>2</sub>	19.090,80	€/año	59.421,30	€/año
	NO <sub>x</sub>	3.270,00	€/año	80.690,00	€/año
	SO <sub>x</sub>	14.896,00	€/año	19.768,00	€/año
	PM10	39.780,00	€/año	69.940,00	€/año
	PM2.5	39.780,00	€/año	65.520,00	€/año

### 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**<sup>2</sup> que grava la estancia de los buques en puerto y que se otorga a aquellos buques que utilicen el 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.

En la Tabla 17 se muestra la comparación de los costes de atraque de los buques con el sistema actual y con la bonificación del 50% aplicada gracias a la implantación del nuevo sistema OPS.

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

	OPS		MGO	
<b>BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1</b>	<b>372.732</b>	<b>€/año</b>	<b>745.464</b>	<b>€/año</b>
% Bonificación de la tasa T-1 de los buques	50,00	%	0,00	%
Costes de atraque	372.731,97	€/año	745.463,94	€/año

Finalmente, en la Tabla 18 se muestra la nueva comparación económica entre el sistema actual con los motores auxiliares alimentados por MGO y el nuevo de suministro eléctrico OPS, incluyendo los factores económicos de monetización de las emisiones y bonificación del 50% de la tasa T-1.

<sup>2</sup> 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.

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

	OPS		MGO	
<b>INVERSIÓN EN MUELLE</b>	<b>-520.433</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<i>Inversión en los equipos eléctricos</i>	-520.433	€	0,00	€
<b>INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES</b>	<b>-150.000</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<b>INVERSIÓN EN LOS BUQUES *</b>	<b>-337.933</b>	<b>€</b>	<b>0,00</b>	<b>€</b>
<i>Sistema eléctrico</i>	-239.933	€	0,00	€
<i>Costes de homologación</i>	-40.000	€	0,00	€
<i>Otros costes</i>	-58.000	€	0,00	€
<b>GASTOS ANUALES</b>	<b>1.082.713</b>	<b>€/año</b>	<b>883.465</b>	<b>€/año</b>
<i>Gasto anual de energía</i>	1.047.304	€/año	852.183,03	€/año
<i>Gasto anual de operación</i>	25.000	€/año	0,00	€/año
<i>Gasto anual de mantenimiento</i>	10.409	€/año	31.281,60	€/año
<b>MONETIZACIÓN DE LAS EMISIONES</b>	<b>77.037</b>	<b>€/año</b>	<b>229.819</b>	<b>€/año</b>
<i>CO2</i>	19.091	€/año	59.421	€/año
<i>NOx</i>	3.270	€/año	80.690	€/año
<i>SOx</i>	14.896	€/año	19.768	€/año
<i>PM10</i>	39.780	€/año	69.940	€/año
<i>PM2.5</i>	26.000	€/año	65.520	€/año
<b>BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1</b>	<b>372.732</b>	<b>€/año</b>	<b>745.464</b>	<b>€/año</b>
<i>% Bonificación de la tasa T-1 de los buques</i>	50,00	%	0,00	%
<i>Costes de atraque</i>	372.731,97	€/año	745.463,94	€/año

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

#### 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	-1.008.365,72	-1.008.366
1	-199.248,17	-1.207.614
2	-199.248,17	-1.406.862
3	-199.248,17	-1.606.110
4	-199.248,17	-1.805.358
5	-199.248,17	-2.004.607
6	-199.248,17	-2.203.855
7	-199.248,17	-2.403.103
8	-199.248,17	-2.602.351
9	-199.248,17	-2.801.599
10	-199.248,17	-3.000.847
11	-199.248,17	-3.200.096
12	-199.248,17	-3.399.344
13	-199.248,17	-3.598.592
14	-199.248,17	-3.797.840
15	-199.248,17	-3.997.088

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, 195.000 € 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 Málaga 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.

PERIODO	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-1.008.365,72	-1.008.366
1	291.234,30	-717.131
2	291.234,30	-425.897
3	291.234,30	-134.663
4	291.234,30	156.571
5	291.234,30	447.806
6	291.234,30	739.040
7	291.234,30	1.030.274
8	291.234,30	1.321.509
9	291.234,30	1.612.743
10	291.234,30	1.903.977
11	291.234,30	2.195.212
12	291.234,30	2.486.446
13	291.234,30	2.777.680
14	291.234,30	3.068.914
15	291.234,30	3.360.149

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

<b>VAN</b>	<b>2.014.547</b>
<b>TIR</b>	<b>28%</b>
<b>PERIODO DE RETORNO</b>	<b>3,46</b>

En la Tabla 20 se muestran los valores obtenidos para la rentabilidad del sistema OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Málaga, incluyendo dos tipos de financiación: monetización de las emisiones y bonificación del 50% de la tasa T-1. De esta manera, se puede concluir que el nuevo sistema de conexión eléctrica OPS a buques tipo Ro-Pax en el Puerto de Málaga, sí resultaría rentable incluyendo estos dos tipos de financiación, con un **VAN** (a 15 años) de **2.014.547 €** y un **TIR** (a 15 años) del **28%**.

## 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 Málaga, 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, se ha realizado 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 Málaga**.

**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 - <i>Fortuny</i> y <i>Sorolla</i>
Simultaneidad de conexión a OPS/Número puntos de conexión	1
Número de atraques anuales	364
Horas de atraque anuales/Tiempo total conectado a OPS (h/año)	3.258,50
Cantidad de MGO consumida actualmente en atraque sin OPS (Ton)	1.554,87
Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh)	8.404,71
Perfil de potencia media y máxima (kW) durante la estancia en muelle	Ver Figura 6
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

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 en el Puerto de Málaga, 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)	5.942,13	80,69	3,53	2,69	2,52
Sistema OPS (suministro eléctrico)	1.909,08	3,27	2,66	1,53	1,53
<b>% Reducción de emisiones</b>	<b>-67,9%</b>	<b>-95,9%</b>	<b>-24,6%</b>	<b>-43,1%</b>	<b>-39,3%</b>

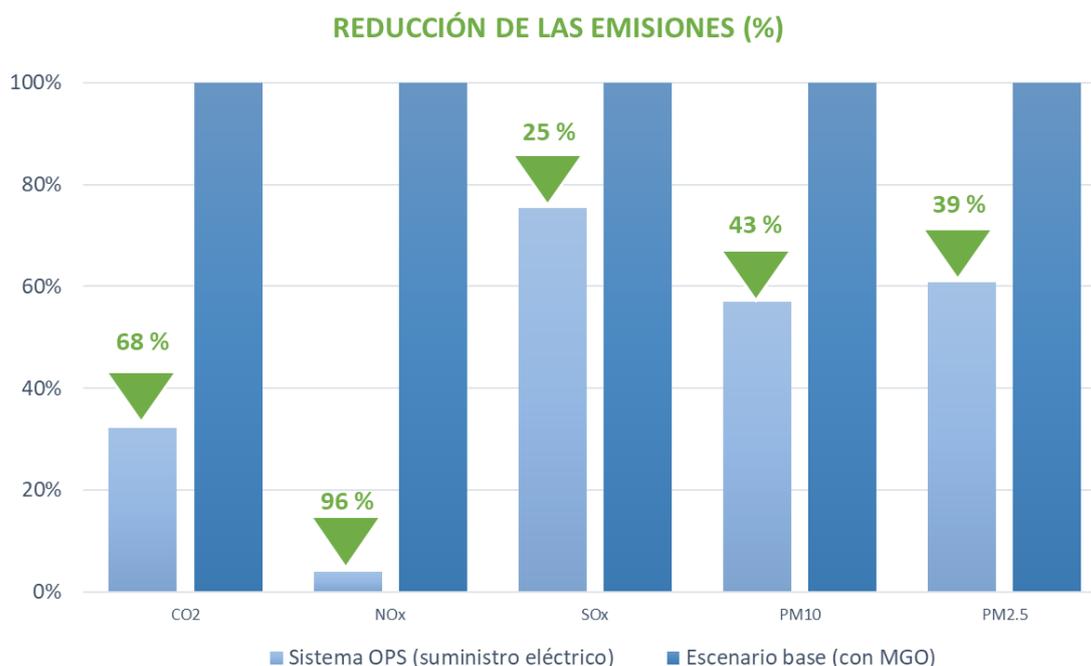


Figura 11. Porcentaje de reducción de las emisiones (%) asociadas al nuevo sistema OPS.

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

<b>BENEFICIOS SOCIALES</b>
<b>REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO</b>
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.

<b>CÁLCULOS ECONÓMICOS</b>		
<b>INVERSIÓN</b>		
	<i>MGO</i>	<b>0 €</b>
	<i>SISTEMA OPS</i>	<b>1.008.366 €</b>
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	<b>-1.008.366 €</b>
<b>GASTO OPERACIONAL</b>		
	<i>MGO</i>	<b>883.465 €</b>
	<i>SISTEMA OPS</i>	<b>1.082.713 €</b>
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	<b>-199.248 €</b>
<b>MONETIZACIÓN DE LAS EMISIONES</b>		
	<i>MGO</i>	<b>140.111 €</b>
	<i>SISTEMA OPS</i>	<b>22.361 €</b>
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	<b>117.751 €</b>
<b>BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1</b>		
	<i>MGO</i>	<b>745.464 €</b>
	<i>SISTEMA OPS</i>	<b>372.732 €</b>
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	<b>372.732 €</b>

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

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 la rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS en el Puerto de Málaga.

<b>RENTABILIDAD</b>		
<b>Sin financiación</b>		
	<i>VAN</i>	<b>-3.076.494 €</b>
	<i>TIR</i>	-
	<i>PERIODO DE RETORNO</i>	-
<b>Con financiación</b>		
	<i>VAN</i>	<b>2.014.547 €</b>
	<i>TIR</i>	<b>28%</b>
	<i>PERIODO DE RETORNO</i>	<b>3,46</b>

## 8. 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](#).

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

El primer punto que es necesario definir para que un sistema de suministro eléctrico a 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.

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

En la Figura 12 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 Málaga.

Distribución de los atraques por tipo de buque

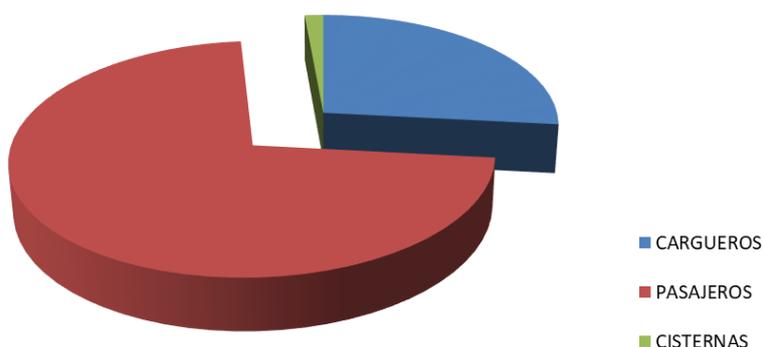


Figura 12. Distribución de los atraques por tipo de buque.

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

Tipo de buque	No. Estancias	Duración total (h)	Duración media (h)	Desviación típica
CARGUEROS	674	20.215,20	29,99	99,16
PASAJEROS	1.818	20.710,45	11,39	15,19
CISTERNAS	36	3.945,37	109,59	175,01
<b>TOTAL</b>	<b>2.528</b>	<b>44.871</b>		

De los datos anteriormente expuestos se puede observar que en el Puerto de Málaga predominan los atraques de los buques de pasajeros si se considera el número de estancias, pero teniendo en cuenta el número de horas en muelle, los datos para los buques de carga y los de transporte de pasajeros son casi idénticos.

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 las que los buques están atracados a lo largo del período estudiado para posteriormente hallar una media diaria, que permita identificar las tendencias de los atraques. Dicha distribución es la mostrada en la Figura 13.

### Distribución horaria de los atraques - Total

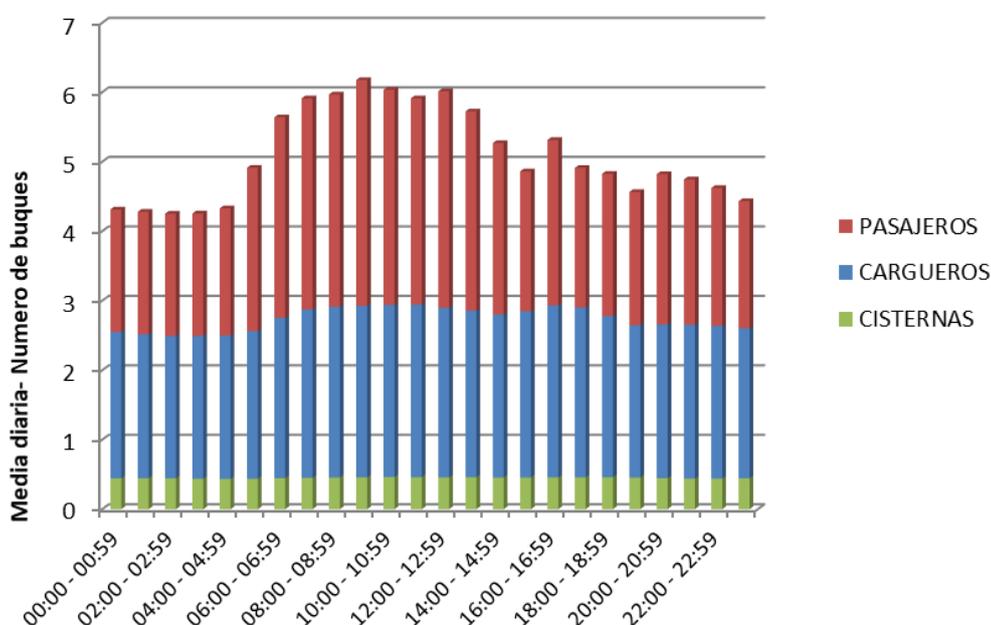


Figura 13. Distribución diaria de los atraques en el Puerto de Málaga.

Tal y como se puede observar en los datos expuestos, existe un tráfico muy ligeramente predominante a primera vista en el Puerto de Málaga y es debido a los buques de pasajeros.

Una vez escogido el tipo de buque objetivo, es necesario filtrar la totalidad de los buques pasajeros que atracan en el Puerto de Málaga. 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)	350
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)	Filtro SI/NO
MAGICA	932	Pasajeros	8.009,95	8,59	SI
FORTUNY	237	Pasajeros	2.693,77	11,37	SI
ESTRELLA FUGAZ	221	Pasajeros	2.527,08	11,43	SI
SOROLLA	104	Pasajeros	850,58	8,18	SI
THOMSON SPIRIT	23	Pasajeros	391,98	17,04	SI
ALMUDAINA DOS	16	Pasajeros	355,68	22,23	SI
EURODAM	12	Pasajeros	64,97	5,41	NO
NISSOS_CHIOS	11	Pasajeros	78,60	7,15	NO
STAR BREEZE	11	Pasajeros	49,65	4,51	NO
MSC MAGNIFICA	9	Pasajeros	27,00	3,00	NO
INDEPENDENCE OF SEAS	8	Pasajeros	65,78	8,22	NO
JUAN J. SISTER	8	Pasajeros	53,83	6,73	NO
ORIANA	8	Pasajeros	26,92	3,36	NO
ZENITH	8	Pasajeros	62,13	7,77	NO
COSTA MAGICA	7	Pasajeros	131,52	18,79	NO
SEABOURN QUEST	7	Pasajeros	44,32	6,33	NO
M/V COSTA FAVOLOSA	6	Pasajeros	24,67	4,11	NO
MS BRAEMAR	6	Pasajeros	23,15	3,86	NO
NORWEGIAN EPIC	6	Pasajeros	67,00	11,17	NO
OOSTERDAM	6	Pasajeros	66,83	11,14	NO
<b>TOTAL BUQUES QUE PASAN EL FILTRO</b>					<b>6</b>

En la Tabla 28 se muestran los buques que finalmente pasan el filtro individualizado para el Puerto de Málaga, que son en este caso 6: *MAGIC A*, *FORTUNY*, *ESTRELLA FUGAZ*, *SOROLLA*, *THOMSON SPIRIT* y *ALMUDAINA DOS*. Sin embargo, hay que destacar que *MAGIC A* y *ESTRELLA FUGAZ* son buques de pequeñas dimensiones que se dedican al transporte de pasajeros y realizan un número elevado de estancias en puerto, por lo que se descartan del estudio.

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, estos dos buques son los que presentan el mayor número de estancias en puerto y también destacan por ser los buques que más horas de atraque realizan. *Fortuny* ha llevado a cabo un total de 237 estancias y 2.694 horas anuales, mientras que *Sorolla* ha realizado 104 estancias y 850 horas. Además, es importante destacar que tienen una duración media en atraque de 10 horas.
- Frecuencia y regularidad de las rutas que realizan estos dos buques. Concretamente, estos buques llevan a cabo la ruta que une el Puerto de Málaga con Melilla. *Fortuny* atraca entre 5 y 6 días por semana, mientras que *Sorolla* lo hace únicamente 1 vez por semana.

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

- Los dos buques atracan en el mismo muelle, además de manera secuencial ya que nunca coinciden al mismo tiempo en el Puerto de Málaga. Esto permite suministrar eléctricamente a los 2 buques con una única instalación OPS en el mismo muelle. El muelle N-3.2 está en concesión de la naviera propietaria de los buques *Fortuny* y *Sorolla* (Armas Transmediterránea – anteriormente Acciona Transmediterránea).
- Disponibilidad cercana de la potencia eléctrica necesaria en la estación marítima, a 20m del muelle.

## 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 14.

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

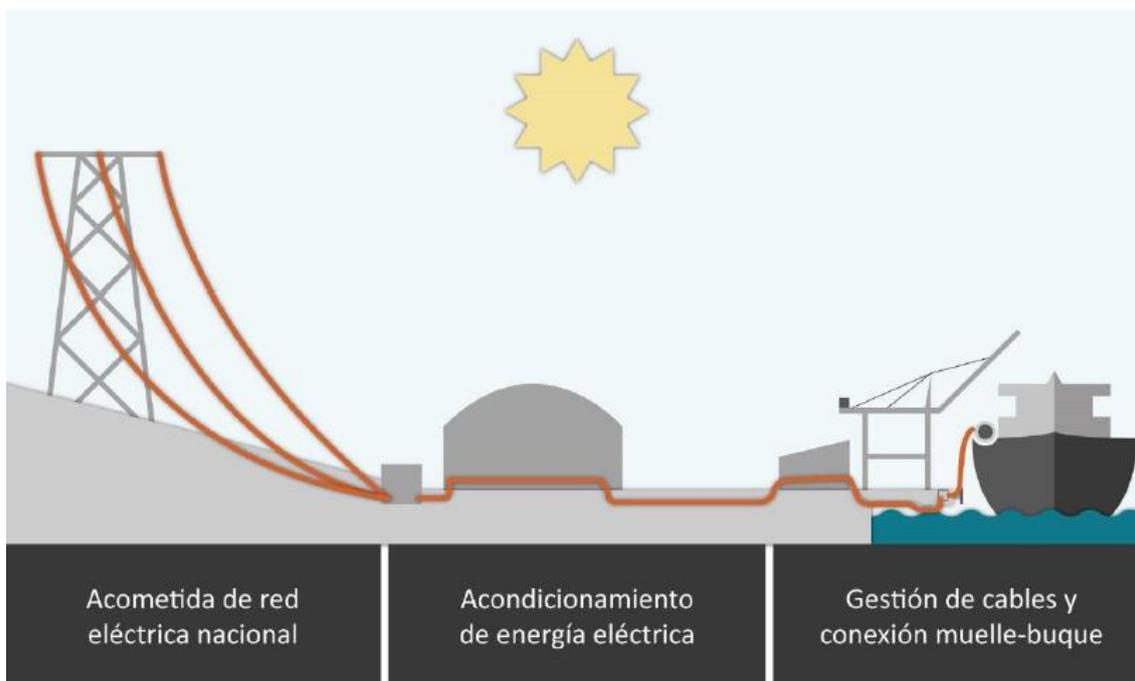


Figura 14. Componentes principales de una instalación OPS en puerto.

### 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 alimentar el sistema OPS.

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

En el muelle N-3.2 escogido para la nueva instalación OPS en el Puerto de Málaga hay disponibilidad de una subestación cercana al muelle (a unos 80 metros de distancia aproximadamente). En la Figura 15 se muestra la localización del Centro de Transformación situado en la Estación Marítima del Puerto de Málaga y su distancia al punto de atraque seleccionado en el estudio.

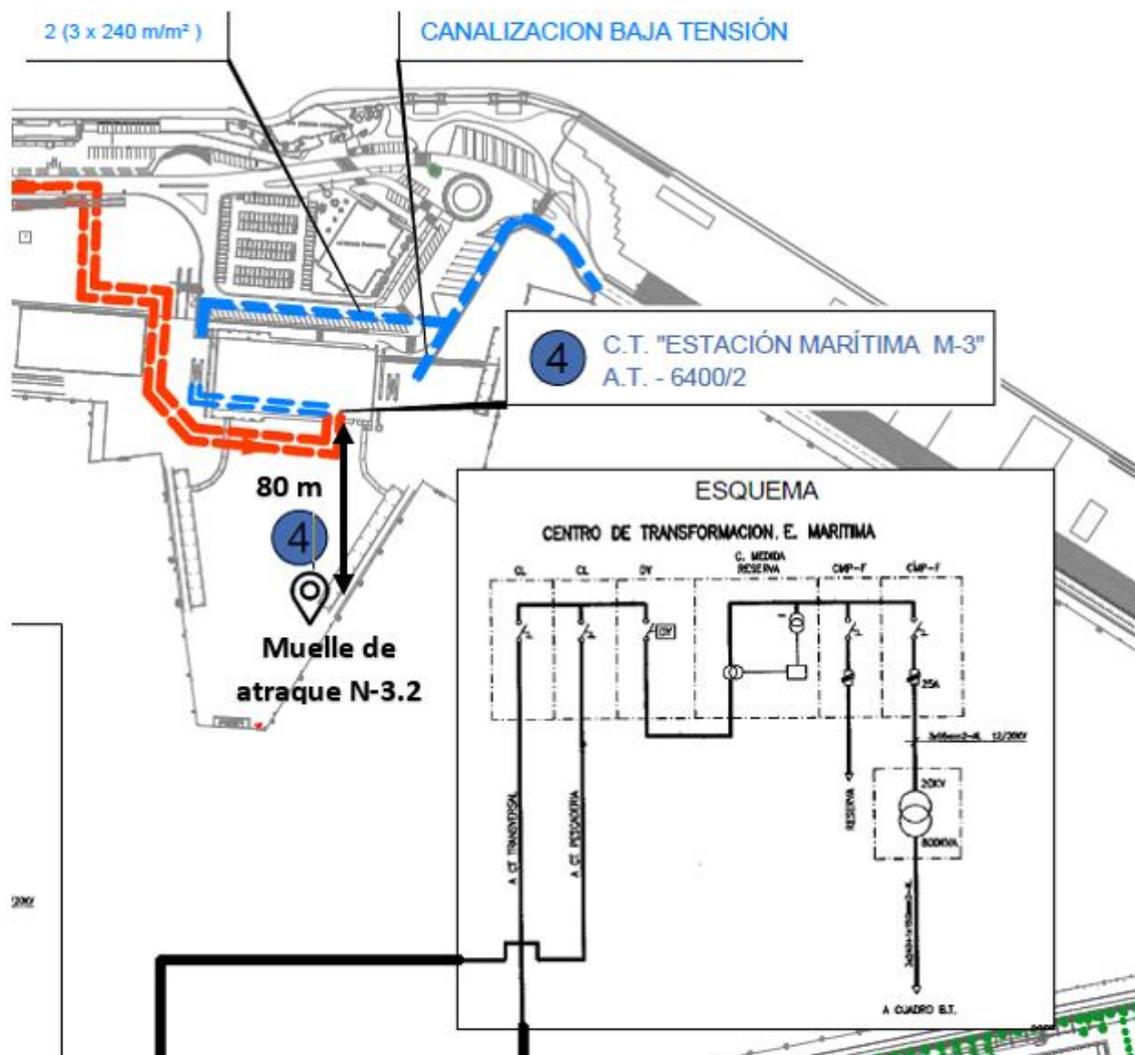


Figura 15. Localización de la subestación en la cercanía del muelle N-3.2 del Puerto de Málaga.

De esta manera, en el muelle “Cánovas” N-3.2 se puede tener acceso a un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los buques planteados y con una tensión disponible igual a 20 kV.

## 2. *Acondicionamiento de la energía eléctrica*

Para llevar a 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 acoplado 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, en el punto de atraque seleccionado en este estudio hay disponibilidad de una subestación cercana al muelle con capacidad de suministrar energía eléctrica a 20 kV, por lo que es necesario transformar esta energía mediante un transformador dimensionado para la potencia necesaria en el punto de conexión.

De esta manera, el primer paso para el acondicionamiento de la energía eléctrica es la adaptación del 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 el puerto. 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 16.

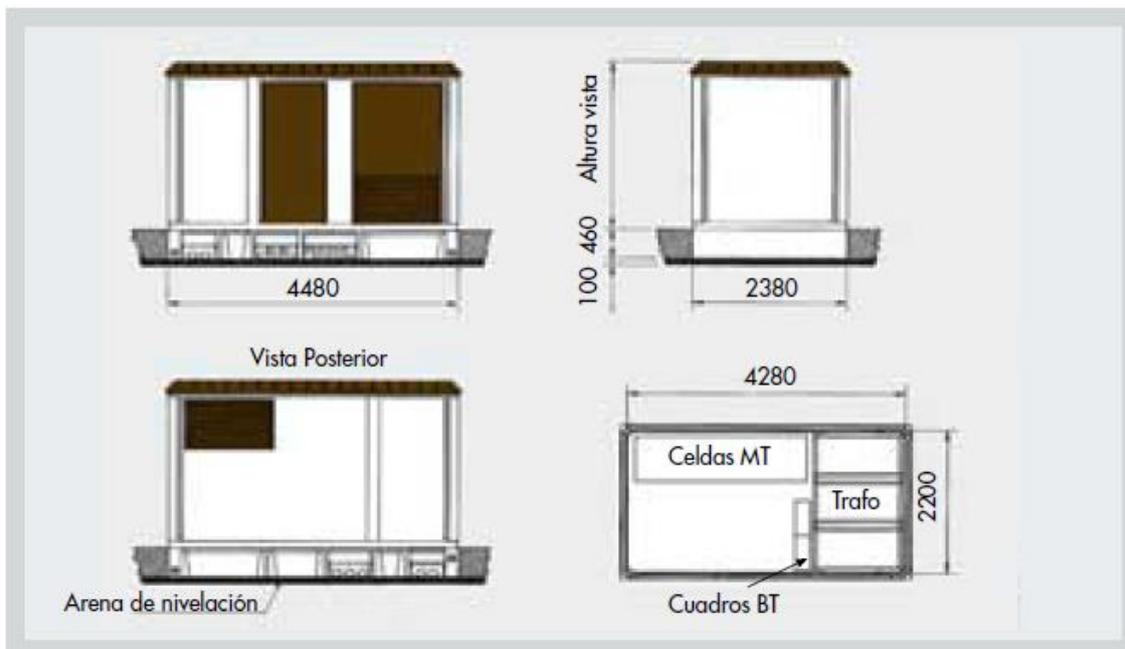


Figura 16. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal.

Otro punto a tener en cuenta es la frecuencia 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. Sin embargo, los buques seleccionados en este estudio trabajan con una frecuencia de 50 Hz, por lo que no sería necesario instalar un transformador de frecuencia, ya que la Red Eléctrica Nacional trabaja a la misma frecuencia que los buques.

De esta manera, es necesario instalar un nuevo **Sistema de Interconexión Red de Media Tensión** 24 kV/50 Hz del lado de tierra y disponible en la Estación Marítima, hasta la tensión normalizada 6,6 kV y 50 Hz del lado buque a los que se va a llevar a cabo el suministro, comprendiendo los siguientes elementos:

- Aparamento Media tensión del lado de tierra, con una tensión máxima de 24 kV y frecuencia de 50 Hz.
- Aparamento Media tensión del lado del buque, con una tensión máxima de 12 kV y frecuencia de 50 Hz.
- 1 transformador reductor, Tierra-buque, potencia de 4,3 MVA, con cambiador de tomas automático y PLC asociado (cumpliendo con la norma ISO 80005), dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.
- Integración física/eléctrica de la aparamento de media tensión y el control asociado.

- Sistema de protecciones de 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.

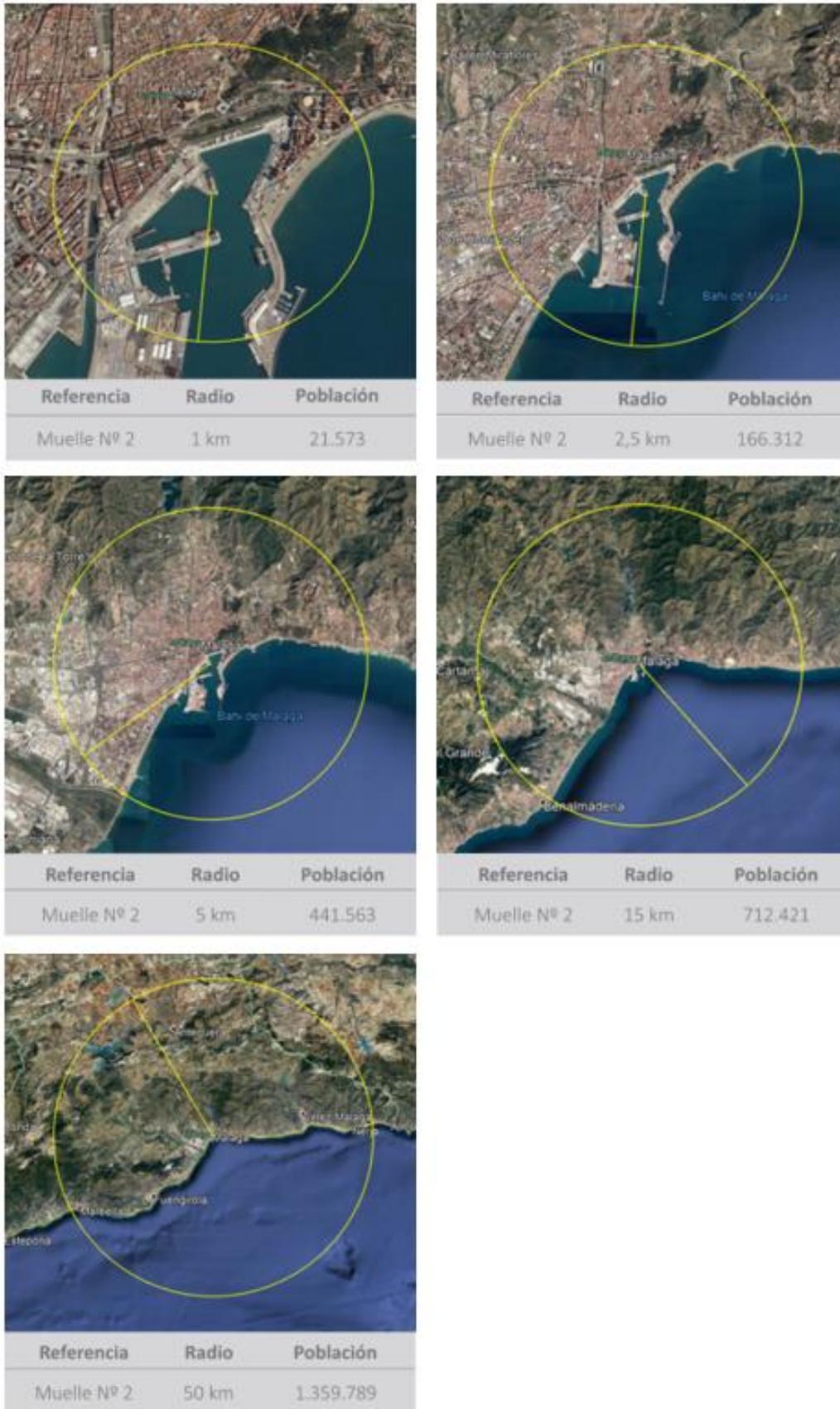
En el lado muelle de la instalación se ubican las conexiones donde deben ser conectados los cables que llevan la potencia a los equipos del buque. Estas conexiones pueden ser alojadas en pequeños habitáculos que albergan los puntos de contacto o, también, pueden ser llevados a un nivel superior mediante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

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

ANEXO 3. Rangos de afección en el Muelle N°2 del Puerto de Málaga



#### 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<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> 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<sub>x</sub>.
- 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)
CO <sub>2</sub>	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
SO <sub>x</sub>	2,1 gr/kg  TUD: gr SO <sub>x</sub> /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
NO <sub>x</sub>	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
PM <sub>10</sub>	1,6 kg/ton (EEA)	0,32 gr/kWh
PM <sub>2,5</sub>	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 17.

$$E_i = AE * t * FE_i$$

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 17.** 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.



**Balance eléctrico anual nacional (GWh)**

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

ANEXO 5. Visita a las instalaciones del Puerto de Málaga.





