



ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
DE SISTEMAS OPS EN EL PUERTO DE VIGO
ANÁLISIS PARA EL MUELLE DE TRASATLÁNTICOS



Proyecto:	Análisis de viabilidad OPS para la Terminal de Bouzas y la Terminal de Cruceros.
Título informe:	Estudio de la viabilidad de implementación de sistemas OPS en el Puerto de Vigo. Análisis para el Muelle de Trasatlánticos.
Cliente:	Autoridad Portuaria de Vigo Praza da Estrela, 1 36201 - Vigo Pontevedra
Fecha:	24 de octubre de 2019
Ref. oferta:	APV902
Informe N°:	Final, Rev. 2



C/Príncipe N° 30, 3º piso
36202 Vigo (Pontevedra)
Spain
+34 986 227 135
www.inovalabs.es

ÍNDICE

Lista de abreviaciones y acrónimos	4
Lista de Figuras.....	5
Lista de Tablas.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. ALCANCE DEL ESTUDIO	8
3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO OBJETIVO	9
3.1. Muelle objetivo	9
3.2. Buques objetivo.....	10
4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....	12
5. DISEÑO DEL SISTEMA OPS	15
5.1. Requisitos de suministro eléctrico	15
5.2. Equipos necesarios.....	16
5.3. Ampliación de potencia.....	19
5.4. Solución recomendada.....	19
6. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO	21
6.1. Inversión.....	21
6.2. Coste del suministro de energía.....	22
6.3. Bonificación de la tasa T-1.....	22
7. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	24
7.1. Reducción de emisiones.....	24
7.2. Reducción del impacto acústico.....	25
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES	28
9. REFERENCIAS Y ENLACES DE INTERÉS	31
ANEXO I. Comparación de alternativas	33
ANEXO II. Configuración de los componentes de una instalación OPS.....	35
ANEXO III. Metodología para el cálculo de la potencia	39
ANEXO IV. Metodología para el cálculo de las emisiones	42
ANEXO V. Perfiles de demanda	45
ANEXO VI. Rangos de afectación cruceros Puerto de Vigo	47

Lista de abreviaciones y acrónimos

APV	Autoridad Portuaria de Vigo
GNL	Gas Natural Licuado
GT	Arqueo bruto (<i>Gross Tonnage</i>)
HFO	<i>Heavy Fuel Oil</i>
MDO	<i>Marine Diesel Oil</i>
MGO	<i>Marine Gas Oil</i>
OGSP	<i>Off-Grid Shore Power</i>
OPS	<i>Onshore Power Supply</i>
PM	Materia particulada (<i>Particulate Matter</i>)
REE	Red Eléctrica de España

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques en puerto.....	7
Figura 2. Metodología CLEOPS.....	8
Figura 3. Vista aérea de cruceros atracados en el Puerto de Vigo.	9
Figura 4. Muelle de Trasatlánticos, ubicación propuesta para la implementación del sistema OPS para cruceros en el Puerto de Vigo.	10
Figura 5. Escalas realizadas por buque en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018.	11
Figura 6. Número de atraques y horas anuales de estancia de los cruceros en el Puerto de Vigo durante el año 2018.	11
Figura 7. Perfil de potencia media demandada por los cruceros atracados en el Muelle de Trasatlánticos a lo largo del año 2018 (ver Anexo V).	13
Figura 8. Detalle de la demanda horaria media y máxima de los cruceros atracados en el Muelle de Trasatlánticos en 2018 (ver Anexo V).	13
Figura 9. Escalas simultáneas de cruceros en el Muelle de Trasatlánticos a lo largo del año 2018.	14
Figura 10. Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle....	16
Figura 11. Ejemplo de subestación blindada. Fuente: Naturgy.	17
Figura 12. Ejemplo de grúa móvil para la gestión de cables. Fuente: Cavotec.....	18
Figura 13. Comparación de la flexibilidad de operación permitida utilizando grúas fijas (A) y grúas móviles como la propuesta para el Puerto de Vigo (B). Fuente: Cavotec.	18
Figura 14. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.....	19
Figura 15. Esquema de la configuración del sistema OPS en el Muelle de Trasatlánticos.	20
Figura 16. Rangos de afectación de la población según la distancia al Muelle de Trasatlánticos (ver Anexo VI).	24
Figura 17. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.	25
Figura 18. Ejemplo de ficha descriptiva de una de las mediciones realizadas a una tipología de crucero. Fuente: Tecnalia [11].	27
Figura 19. Esquema de la configuración del sistema OPS en el Muelle de Trasatlánticos.	28
Figura 20. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.....	29
Figura 21. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.	30
Figura 22. Componentes principales de una instalación OPS en puerto.....	35
Figura 23. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal.....	36

Figura 24. Procedimiento de conexión (izquierda) y buque conectado a un OPS en una caja de conexiones vertical (derecha)..... 37

Figura 25. Ejemplo de grúa móvil para la gestión de cables. Fuente: Cavotec..... 38

Lista de Tablas

Tabla 1. Características de los cruceros atracados en el Puerto de Vigo en 2018..... 10

Tabla 2. Resumen de las estancias de cruceros en el Puerto de Vigo en 2018. 10

Tabla 3. Ecuaciones utilizadas para la estimación de la potencia máxima demandada por los cruceros durante su estancia en puerto. 12

Tabla 4. Demanda anual de cruceros en el Puerto de Vigo. 13

Tabla 5. Demanda anual de cruceros en el Puerto de Vigo, considerando simultaneidad 1. 14

Tabla 6. Requisitos técnicos del suministro eléctrico a cruceros en el Muelle de Trasatlánticos. 16

Tabla 7. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Muelle de Trasatlánticos. 20

Tabla 8. Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.... 21

Tabla 9. Inversión inicial necesaria para la instalación del nuevo sistema OPS. 21

Tabla 10. Comparativa de los costes de combustible entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. 22

Tabla 11. Supuestos para el cálculo de la tasa T-1..... 23

Tabla 12. Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS. 23

Tabla 13. Mediciones de potencia sonora para los cruceros. Fuente: Tecnalía [11]..... 25

Tabla 14. Demanda anual de cruceros en el Puerto de Vigo, considerando simultaneidad 1. .. 28

Tabla 15. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Muelle de Trasatlánticos. 29

Tabla 16. Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.. 30

Tabla 17. Comparación de la inversión inicial necesaria las alternativas de OPS u OGSP..... 33

Tabla 18. Consideraciones para la estimación del coste de generación eléctrica con GNL. 34

Tabla 19. Comparativa de los costes de combustible entre las alternativas OPS y OGSP..... 34

Tabla 20. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Fuente: OPS Master Plan for Spanish Ports [13]..... 42

Tabla 21. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE..... 44

1. INTRODUCCIÓN

A día de hoy, el tráfico marítimo constituye una fuente especialmente importante de contaminación atmosférica, lo que supone una amenaza para la salud pública y el medio ambiente en las zonas costeras y ciudades portuarias. Además de CO₂, los buques emiten elevados niveles de óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM), contaminantes altamente peligrosos para la salud humana.

Este problema, unido a las regulaciones internacionales cada vez más estrictas sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos, está obligando al sector del transporte marítimo a analizar la manera de reducir este impacto.

Una posibilidad es el uso de la tecnología OPS (*Onshore Power Supply*), también conocida como “*Cold Ironing*”. Esta técnica consiste en la conexión a la red general eléctrica de los buques atracados en puerto (Figura 1). Esto les permite apagar sus motores auxiliares, que de otra manera tendrían que utilizar para generar la energía requerida para satisfacer sus distintas necesidades a bordo. De esta manera, el OPS constituye para el transporte marítimo una alternativa a la quema de combustible durante su estancia en puerto, permitiendo reducir de forma significativa el ruido y las emisiones de los gases contaminantes.

Este sistema de suministro eléctrico a buques en puerto presenta las siguientes ventajas:

- **Reducir las emisiones directas** de CO₂, NO_x, SO_x y PM en sus entornos, lo cual resulta particularmente importante si se encuentran próximos a núcleos de población.
- **Satisfacer la demanda social**, cada vez más sensibilizada con la reducción de emisiones, el cambio climático y los efectos nocivos de las partículas en la salud humana.
- **Liderar el cambio fomentado por el marco regulatorio europeo**, donde cabe citar, entre otras, las siguientes normativas: Directiva 2014/94/UE, relativa al despliegue de infraestructuras para combustibles alternativos [1], 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], Reglamento (UE) 1315/2013, sobre la disponibilidad de combustibles alternativos [3] o Reglamento (UE) 1316/2013, sobre la descarbonización del sector del transporte [4].

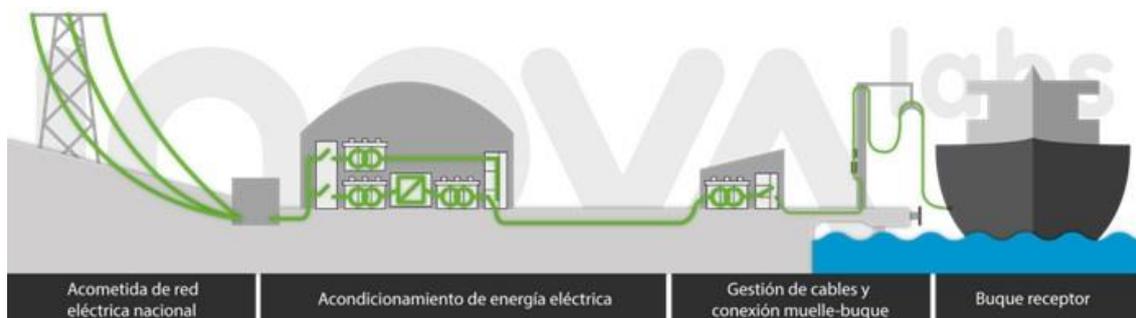


Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques en puerto.

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del presente estudio comprende un análisis completo de viabilidad para la implantación de un sistema OPS a cruceros en el Puerto de Vigo. Para ello, Inova Labs aplicará su metodología CLEOPS (Figura 2). Esta herramienta permite dar respuesta a las principales cuestiones que es necesario abordar para la implementación de sistemas OPS. A través de un estudio detallado, CLEOPS permite buscar la mejor alternativa técnica para cada caso particular, así como valorar la viabilidad económica del proyecto y el impacto ambiental asociado.



Análisis de la demanda potencial:

- Caracterización de la demanda.
- Número, frecuencia y duración de los atraques.
- Estimación de la energía demandada.



Estudio técnico de implementación OPS:

- Análisis de alternativas, elección sistema óptimo.
- Dimensionamiento eléctrico.



Análisis económico-financiero del proyecto:

- Simulación de coste eléctrico (mercado eléctrico).
- Rentabilidad del sistema conjunto (TIR, VAN, etc).



Análisis de impacto ambiental:

- Reducción de emisiones.
- Reducción de ruido.
- Eficiencia Energética.

Figura 2. Metodología CLEOPS.

3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO OBJETIVO

El escenario que se pretende analizar en el presente informe comprende el estudio de la conexión a la red eléctrica de los cruceros que atracan en el Puerto de Vigo. En base a este objetivo, se describe a continuación la situación actual relativa tanto al muelle como a los buques objeto de estudio.



Figura 3. Vista aérea de cruceros atracados en el Puerto de Vigo.

3.1. Muelle objetivo

En coordinación con la Autoridad Portuaria de Vigo, se ha seleccionado como ubicación adecuada para estudiar la posible instalación de un sistema OPS para cruceros el Muelle de Trasatlánticos, que se localiza en la parte norte del puerto.

En este muelle, la empresa Vigo Cruise Terminal gestiona una terminal con 700 m de línea de atraque (552 m de muelle ampliados otros 150 m mediante tres Duques de Alba), con calados de 12 m y una superficie total de 62.125 m². El muelle cuenta con pasarelas móviles para el embarque y desembarque de pasajeros, y tiene capacidad para acoger hasta tres buques de forma simultánea.

En la Figura 4 se muestra un mapa del Puerto de Vigo, donde se indica la zona de actuación definida.



Figura 4. Muelle de Trasatlánticos, ubicación propuesta para la implementación del sistema OPS para cruceros en el Puerto de Vigo.

3.2. Buques objetivo

Los buques objetivo del presente estudio son los cruceros que atracan en el Puerto de Vigo. Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, el muelle objetivo contemplado para la instalación del nuevo sistema OPS es el Muelle de Trasatlánticos. Por esta razón, se han seleccionado únicamente aquellos cruceros que han realizado sus estancias en este punto de atraque.

A continuación, se resumen las características (Tabla 1) y las escalas (Tabla 2) de los buques que han atracado en el Muelle de Trasatlánticos en el año 2018, de acuerdo a los datos proporcionados por la Autoridad Portuaria de Vigo.

Tabla 1. Características de los cruceros atracados en el Puerto de Vigo en 2018.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CRUCEROS ATRACADOS EN 2018		
Parámetro	Rango	Promedio
GT	9.570 - 171.598	79.758
Eslora (m)	131 - 339	254
Manga (m)	18 - 56	33
Pasajeros	184 - 4.488	2.198

Tabla 2. Resumen de las estancias de cruceros en el Puerto de Vigo en 2018.

ESCALAS DE CRUCEROS 2018	
Número total de escalas	67
Número total de cruceros	38
Horas totales de atraque	606,5
Estancia media (horas)	9,0

Por otra parte, tal y como se observa en la Figura 5, la mayoría de los buques (65,8%) han realizado una única escala en el Puerto de Vigo a lo largo del año, mientras que el 21,1% han realizado dos escalas, y el 13,2% de los cruceros ha visitado el puerto tres o más veces.

ESCALAS POR BUQUE EN 2018

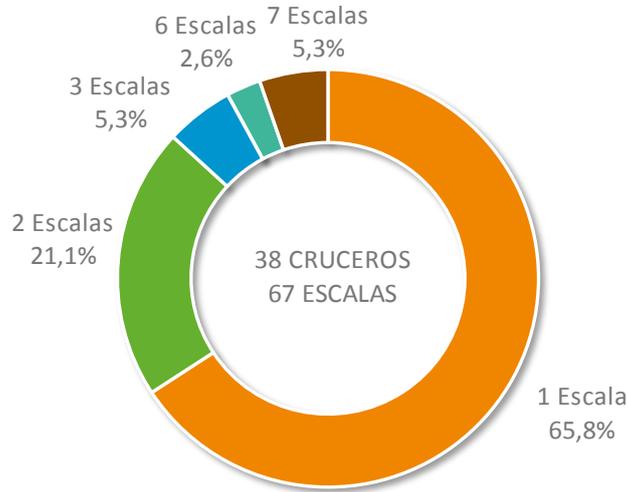


Figura 5. Escalas realizadas por buque en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018.

Finalmente, en la Figura 6 se muestra de forma gráfica el número de atraques y las horas de estancia anual para cada uno de los cruceros que atracan en el Muelle de Trasatlánticos.

CRUCEROS TERMINAL TRASATLÁNTICOS

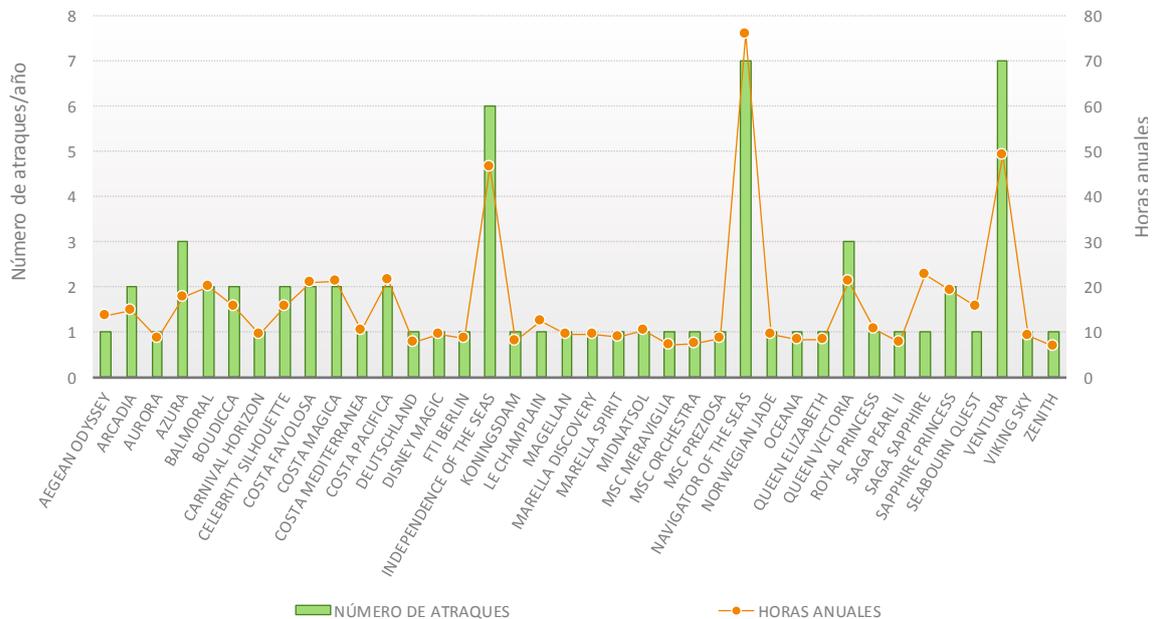


Figura 6. Número de atraques y horas anuales de estancia de los cruceros en el Puerto de Vigo durante el año 2018.

4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Para la estimación de la demanda eléctrica de los cruceros en el Muelle de Trasatlánticos, se han seguido los siguientes pasos:

- 1) Estimación de la potencia máxima demanda por cada uno de los buques, en función de sus características: GT, eslora y capacidad (número de pasajeros). Para ello se utilizan las ecuaciones que se indican en la Tabla 3, definidas en base a datos y metodologías para el cálculo de la potencia demandada por cruceros durante su estancia en puerto recogidas en diferentes estudios [6-10]. Para cada buque, se toma el promedio de las potencias máximas calculadas.

Tabla 3. Ecuaciones utilizadas para la estimación de la potencia máxima demandada por los cruceros durante su estancia en puerto.

Potencia máxima estimada (kW)	Parámetro (x)	Referencia
$P_{MAX} = 26,889 \cdot x + 131,76$	Eslora	Chalmers [6]
$P_{MAX} = 0,0457 \cdot x + 3.484,9$	GT	Chalmers [6]
$P_{MAX} = 1,4761 \cdot x + 3.721,4$	Pasajeros	Chalmers [6]
$P_{MAX} = 0,16 \cdot (9,551 \cdot x^{0,76})$	GT	Trozzi [7]
$P_{MAX} = 3,118 \cdot x + 591,48$	Pasajeros	White Bay [8]
$P_{MAX} = 2,5 \cdot x$	Pasajeros	By & Havn [9]
$P_{MAX} = 1.767,8 \cdot \ln(x) - 12.577$	GT	Espinosa [10]
$P_{MAX} = 84,71 \cdot x^{0,3964}$	GT	Espinosa [10]
$P_{MAX} = 1.723,6 \cdot \ln(x) - 12.452$	GT	Espinosa [10]
$P_{MAX} = 69,702 \cdot x^{0,4096}$	GT	Espinosa [10]

Nótese que esta estimación de la potencia máxima demandada por los buques se hace para conocer la potencia que será necesario suministrar en los casos más restrictivos de picos de demanda de energía. Sin embargo, en caso de que se produzcan estos picos de potencia, estos no se mantendrán durante toda la estancia del buque, sino solo durante momentos puntuales. Por ello, se estima la potencia media requerida por los cruceros, para lo cual se ha considerado un factor de picos de potencia de 1,50 de acuerdo con los valores recogidos en la bibliografía [6].

- 2) Estimación de la energía demandada por los cruceros durante su estancia en puerto, para lo cual se multiplica la potencia media estimada para cada buque por el número de horas que dura su escala (calculado a partir de los datos exactos de entrada y salida).
- 3) Determinación de la potencia necesaria en el muelle para garantizar el suministro eléctrico de los buques. Se toma la potencia máxima más alta demandada a partir de la mayor de las potencias pico registradas de entre todos los cruceros y aplicando un factor de potencia de 0,8 (típico en este tipo de buques).

En la Tabla 4 se recogen los resultados de demanda obtenidos para los cruceros que atracan en el Muelle de Trasatlánticos del Puerto de Vigo.

Tabla 4. Demanda anual de cruceros en el Puerto de Vigo.

DEMANDA ELÉCTRICA TOTAL DE CRUCEROS EN EL PUERTO DE VIGO	
Demanda media anual (kWh)	3.041.520
Potencia media requerida (kW)	12.622
Potencia media requerida (kVA)	15.778
Potencia máxima requerida (kW)	18.933
Potencia máxima requerida (kVA)	23.667

En la Figura 7 abajo, se muestra de forma gráfica la potencia media demandada por los cruceros a lo largo del año. Nótese que en aquellos días en los que ha habido dos buques atracados de forma simultánea en el Muelle de Trasatlánticos, se diferencia la potencia demandada por cada uno de ellos con colores diferentes. En los casos en los que hay dos buques atracados a la vez, la demanda total se corresponde con la suma de la demanda del primer buque (en verde) y del segundo (en naranja). En el Anexo V, se reproduce la Figura 7 a una escala mayor.

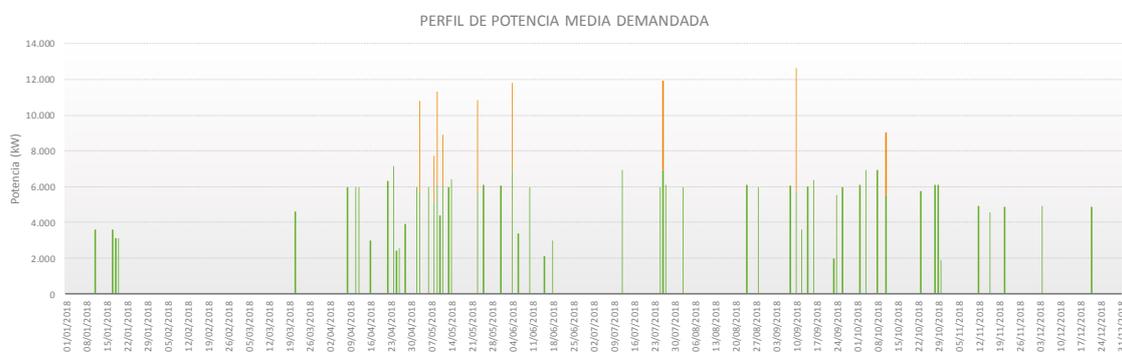


Figura 7. Perfil de potencia media demandada por los cruceros atracados en el Muelle de Trasatlánticos a lo largo del año 2018 (ver Anexo V).

Como se puede observar, los buques analizados presentan una demanda estacional, concentrándose las estancias de cruceros principalmente entre abril y junio, y con una frecuencia menor, entre julio y enero.

Por otra parte, en la Figura 8 se indica el detalle de la potencia media y la potencia máxima demandada en los días en los que ha habido escala de algún crucero en el Muelle de Trasatlánticos. En el Anexo V, se reproduce esta gráfica a una escala mayor.



Figura 8. Detalle de la demanda horaria media y máxima de los cruceros atracados en el Muelle de Trasatlánticos en 2018 (ver Anexo V).

A continuación, se resume en la Figura 9 la frecuencia con la que se han producido escalas simultáneas en el Muelle de Trasatlánticos durante 2018. Tal y como se puede observar, la ocupación no ha alcanzado en ningún momento la capacidad máxima del muelle, siendo además poco frecuente que se produzca el atraque de más de un buque al mismo tiempo.

ATRAQUES SIMULTÁNEOS DE CRUCEROS EN 2018

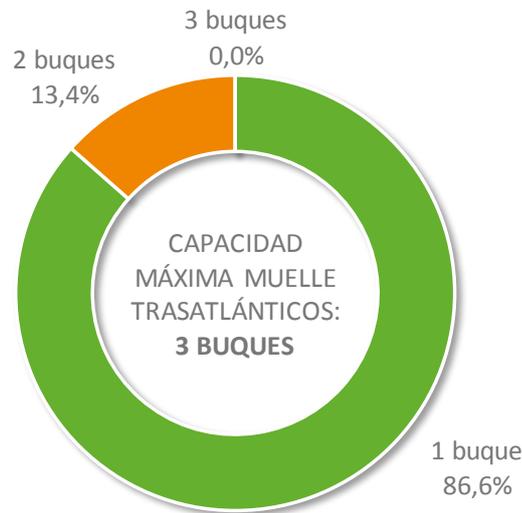


Figura 9. Escalas simultáneas de cruceros en el Muelle de Trasatlánticos a lo largo del año 2018.

Este análisis de la simultaneidad de atraques es relevante para poder decidir la potencia y el número de conexiones que es necesario instalar en el muelle. Dada la baja frecuencia de escalas simultáneas en el caso de estudio, no parece recomendable dimensionar las instalaciones para dar suministro eléctrico a más de un buque al mismo tiempo.

En la Tabla 5 se resumen los resultados de la estimación de demanda y la potencia requerida considerando únicamente los casos de simultaneidad 1 (conexión de un único buque a la vez), independientemente de si hay más buques atracados en el muelle al mismo tiempo. Nótese que para la estimación de demanda en los casos en los que se han registrado escalas dobles, se ha seleccionado el buque que ha requerido una cantidad de energía mayor durante su estancia.

Tabla 5. Demanda anual de cruceros en el Puerto de Vigo, considerando simultaneidad 1.

DEMANDA ELÉCTRICA DE CRUCEROS EN EL PUERTO DE VIGO – SIMULTANEIDAD 1	
% Demanda total cruceros	87,8%
Demanda media anual (kWh)	2.669.420
Potencia media requerida (kW)	7.130
Potencia media requerida (kVA)	8.913
Potencia máxima requerida (kW)	10.695
Potencia máxima requerida (kVA)	13.369

Como puede observarse, conectando un único buque a la vez es posible cubrir el 87,8% de la demanda eléctrica total de los cruceros. Dado que el 12,2% de demanda restante no justificaría la inversión adicional necesaria para aumentar la potencia y los puntos de conexión, en el presente estudio se considerará únicamente la demanda correspondiente al escenario de simultaneidad 1 (Tabla 5).

5. DISEÑO DEL SISTEMA OPS

En el presente apartado, se definen las principales características de la solución recomendada para el suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Vigo: requisitos de suministro, equipos necesarios y necesidades de ampliación de potencia.

Para el presente caso, se ha considerado la alternativa OPS, ya que la opción de generar in situ la electricidad con gas natural (OGSP, *Off-Grid Shore Power*) resulta menos ventajosa desde el punto de vista económico (en el Anexo I se puede ver la comparativa entre ambas alternativas).

5.1. Requisitos de suministro eléctrico

A partir de la demanda calculada en el apartado 4, se han definido los requisitos de suministro que se resumen en la Tabla 6, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según lo explicado en el apartado 4 anterior, se ha dimensionado el sistema teniendo en cuenta simultaneidad 1, dada la baja frecuencia de escalas simultáneas observada. Por lo tanto, se realizará el suministro eléctrico a un único buque a la vez, independientemente de si hay más cruceros atracados de forma simultánea.
- El número de puntos de conexión se ha definido para poder abarcar la totalidad de los cruceros que operan en el puerto, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Los cruceros atracan siempre por estribor, al ser la posición natural de atraque de la mayoría de los cruceros y el costado en el que disponen de más tomas de servicio. En el caso del Puerto de Vigo, por motivos de operatividad y seguridad en la navegación seguirán atracando por ese costado.
 - Existe flexibilidad en cuanto a la posición de atraque a lo largo del muelle. En caso de que haya un único crucero, este atracará de forma que las puertas de desembarque estén centradas con la Estación Marítima, para minimizar en lo posible el recorrido desde el buque hasta este edificio. Si por el contrario hubiese dos cruceros, estos se ubicarán de manera que ambos quepan en condiciones de seguridad, aunque la distancia a la Estación Marítima sea mayor (ver Figura 15 en el apartado 5.4 más adelante).
 - El sistema de gestión de cables permite ampliar en un radio de 50 m la distancia desde el punto de conexión en el muelle (ver apartado 5.2.2).
- La potencia instalada necesaria se ha calculado a partir de la mayor potencia máxima demandada por los buques (ver Tabla 5). A esta potencia se le ha aplicado un factor de ampliación del 20%, con objeto de contemplar el suministro a otros posibles cruceros con mayor demanda de potencia que puedan hacer escala en el Puerto de Vigo.
- El voltaje de suministro es el recomendado para cruceros, de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 800005-1 [5].

- La frecuencia de suministro se ha seleccionado en base a las diferentes frecuencias a las que trabajan los cruceros analizados.

Tabla 6. *Requisitos técnicos del suministro eléctrico a cruceros en el Muelle de Trasatlánticos.*

REQUISITOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO A CRUCEROS	
Simultaneidad de suministro	1
Puntos de conexión	4
Potencia máxima necesaria (Tabla 5)	10.695 kW (13.369 kVA)
Factor de ampliación	20%
Potencia instalada necesaria	13 MW (16 MVA)
Voltaje de suministro	6,6 kV
Frecuencia de suministro	50 y 60 Hz

5.2. Equipos necesarios

En este apartado se describen los equipos eléctricos y el sistema de gestión de cables necesarios para el suministro de electricidad a los cruceros en el Puerto de Vigo, de acuerdo al esquema representado en la Figura 10.

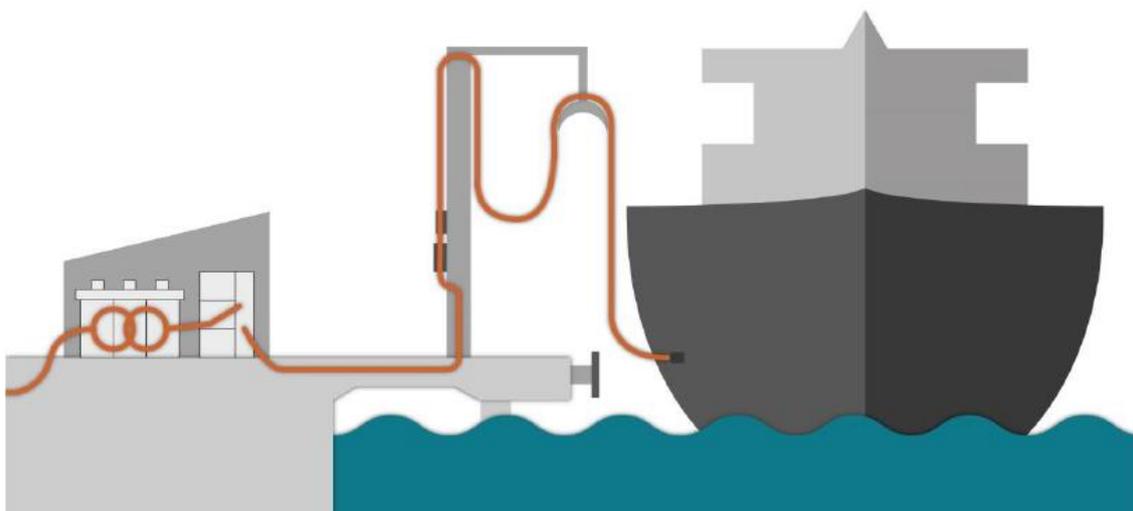


Figura 10. *Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle.*

5.2.1. Equipos eléctricos

El Muelle de Trasatlánticos no dispone actualmente de un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los cruceros planteados. Por tanto, es necesario instalar un nuevo **Sistema de Interconexión a la Red de Alta Tensión** cerca del muelle seleccionado.

Esta instalación consiste en una Subestación para el acondicionamiento de la energía eléctrica desde la red de Alta Tensión (132 kV y 50 Hz) hasta la tensión y la frecuencia de suministro (6,6 kV y 50/60 Hz). 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, similar a la subestación blindada que se muestra en la Figura 11.

Los principales equipos que formarán parte de esta Subestación son los siguientes:

- Aparamenta Alta Tensión del lado de Tierra, con una tensión máxima de 132 kV y frecuencia 50 Hz.
- Aparamenta Media Tensión del lado del buque, con una tensión máxima de 12 kV y frecuencia de 60 Hz.
- 2 convertidores de frecuencia electrónicos 50/60 Hz, con potencia máxima unitaria de 10 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).
- 2 transformadores elevadores, Convertidor-Buque, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal).
- Integración física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones en media tensión y control básico.

Finalmente, es necesario extender el cableado que unirá la Subestación anterior y los puntos de conexión en el muelle, de acuerdo al esquema presentado anteriormente en la Figura 10.



Figura 11. Ejemplo de subestación blindada. Fuente: Naturgy.

5.2.2. Sistema de gestión de cables

Para la gestión de cables, se propone la utilización de una grúa móvil como la que se presenta en la Figura 12 abajo. Esta grúa se compone de un brazo en voladizo que soporta una polea o dispositivo que permite manejar y tender los cables hasta el punto de conexión en el lado buque.

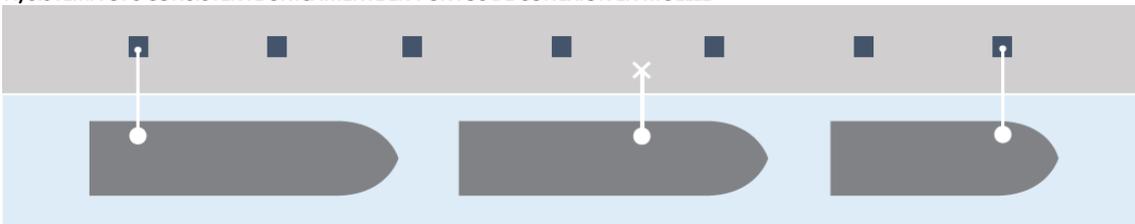
La principal ventaja de este tipo de sistema es que permite una gran flexibilidad de operación a lo largo del muelle, independientemente de la localización del punto de conexión a bordo del buque (ver Figura 13). Esta característica hace que este tipo de grúas estén especialmente indicadas para cruceros, ya que estos presentan una gran diversidad en cuanto tamaños y ubicación del punto de conexión.

Por otra parte, se facilita el almacenamiento cuando no se encuentra en operación, ya que al tener una base móvil la grúa puede ser trasladada a cualquier otro punto del puerto.



Figura 12. Ejemplo de grúa móvil para la gestión de cables. Fuente: Cavotec.

A) SISTEMA OPS CONSISTENTE ÚNICAMENTE EN PUNTOS DE CONEXIÓN EN MUELLE



B) SISTEMA OPS CONSISTENTE EN PUNTOS DE CONEXIÓN EN MUELLE Y GRÚA MÓVIL

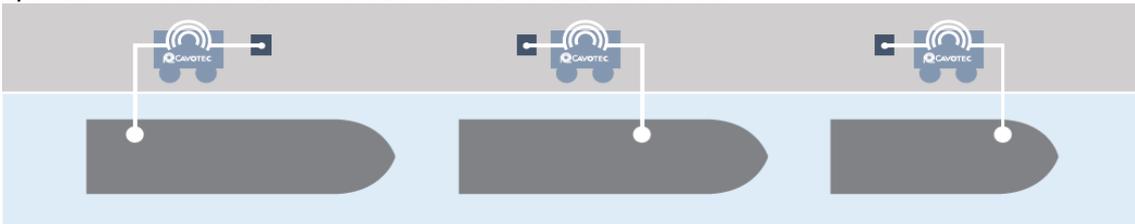


Figura 13. Comparación de la flexibilidad de operación permitida utilizando grúas fijas (A) y grúas móviles como la propuesta para el Puerto de Vigo (B). Fuente: Cavotec.

5.3. Ampliación de potencia

Uno de los aspectos principales a tener en cuenta para la implementación de un sistema OPS es la disponibilidad de potencia eléctrica en el punto de suministro o acometida de conexión. En el caso del Muelle de Trasatlánticos del Puerto de Vigo, el punto más cercano para la acometida con potencia necesaria es la Subestación situada fuera de las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Vigo, concretamente en el Castro.

Por lo tanto, sería necesario realizar una ampliación de la red eléctrica hasta la nueva Subestación portuaria (ver apartado 5.2.1). En concreto, sería necesario llevar una línea de alta tensión (132 kV) desde la Subestación del Castro hasta la nueva Subestación del Muelle de Trasatlánticos.

En la Figura 14 se muestra de forma orientativa la acometida que se debería llevar a cabo para disponer de potencia suficiente en el muelle objetivo. Tal y como se indica en este esquema, la acometida a la red eléctrica planteada tendría una longitud total aproximada de 1,1 km.



Figura 14. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.

5.4. Solución recomendada

En base a todo lo anterior, en la Tabla 7 se resumen las características de la solución recomendada para la implementación de OPS para cruceros en el Puerto de Vigo.

Tabla 7. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Muelle de Trasatlánticos.

SOLUCIÓN RECOMENDADA – OPS CRUCEROS	
Ubicación de la instalación	Muelle de Trasatlánticos
Simultaneidad de suministro	1
Puntos de conexión	4
Potencia en muelle necesaria (MW)	13
Potencia en muelle necesaria (MVA)	16
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa móvil

Finalmente, en la Figura 15 se muestra un esquema de la configuración propuesta para el nuevo sistema OPS en el Muelle de Trasatlánticos.

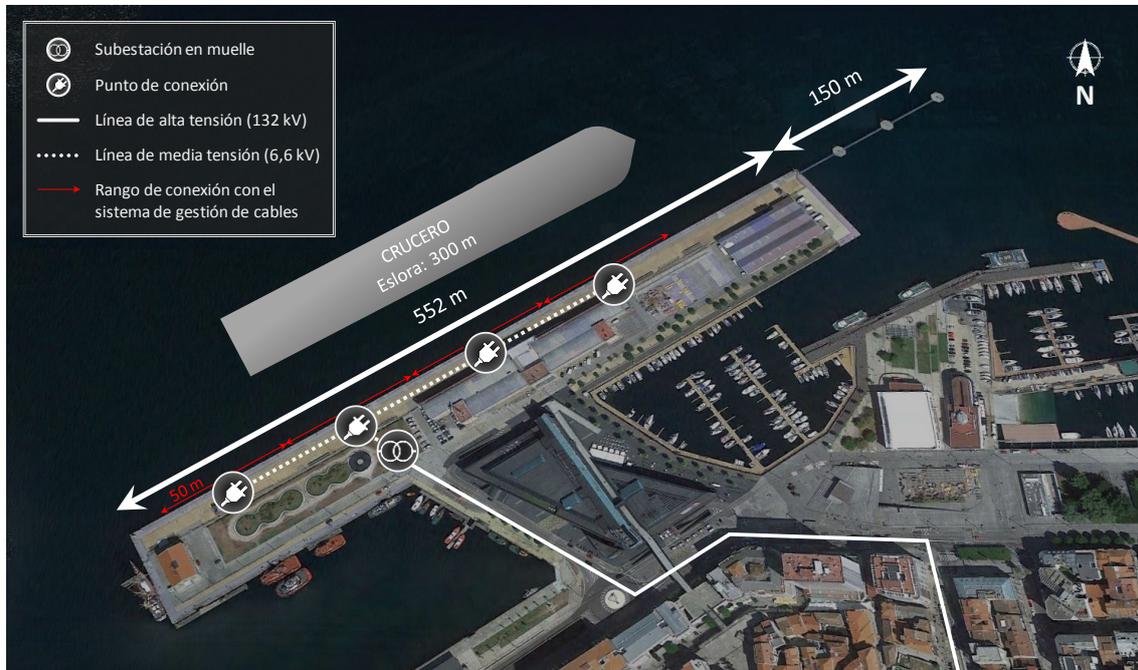


Figura 15. Esquema de la configuración del sistema OPS en el Muelle de Trasatlánticos.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

En este apartado se presenta el análisis de costes del nuevo sistema OPS, comparándolo con la alternativa actual de utilización de los motores auxiliares con MGO. En la Tabla 8 se resumen los costes asociados a estos dos sistemas.

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

	MGO	OPS
Inversión inicial (M€)	0,00	10,55
Ampliación de la red eléctrica (M€)	-	6,23
Instalaciones portuarias (M€)	-	4,32
Gastos anuales (€/año)	738.428,70	572.814,62
Coste combustible (€/año)	265.172,90	336.186,72
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	473.255,80	236.627,90

A continuación, se desglosa cada una de las partidas incluidas en la Tabla 8.

6.1. Inversión

La inversión necesaria para llevar a cabo la instalación OPS de suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Vigo se desglosa en dos tipos:

- **Inversión necesaria para la ampliación de la red eléctrica.** Costes asociados a la acometida a la red eléctrica desde la Subestación del Castro hasta las instalaciones portuarias (ver apartado 5.3). Según lo acordado con la Autoridad Portuaria de Vigo, no se solicita un presupuesto a la compañía distribuidora, dada la magnitud de las obras necesarias. En su lugar, se presenta un rango aproximado estimado a partir de los datos obtenidos en un proyecto similar.
- **Inversión en instalaciones portuarias.** Se incluye el coste estimado de la nueva Subestación con los equipos eléctricos (ver apartado 5.2.1) y los cuatro puntos de conexión (caja de conexiones y cableado asociado), estimado en base a un presupuesto preliminar recibido por parte de un fabricante. Asimismo, se incluye el coste del sistema de manejo de cables (ver apartado 5.2.2), que se ha estimado en base a un estudio de DNV-GL para cruceros [17], a la espera de obtener la confirmación de Cavotec.

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 combustible marino.

Tabla 9. Inversión inicial necesaria para la instalación del nuevo sistema OPS.

INVERSIÓN INICIAL	
Ampliación de potencia (€)	6.230.000,00
Ingeniería (€)	50.000,00
Gestión, tramitaciones y permisos (€)	116.000,00
Materiales (€)	2.530.000,00

INVERSIÓN INICIAL	
Obra civil (€) ¹	2.700.000,00
Montaje (€)	525.000,00
Ensayos finales (€)	47.000,00
Dirección facultativa y supervisión de obra (€)	134.000,00
Seguridad (€)	78.000,00
Gestión de residuos (€)	50.000,00
Instalaciones portuarias (€)	4.319.450,40
Equipos eléctricos (€)	3.265.000,00
4 puntos de conexión (€)	54.450,40
Sistema de manejo de cables (€)	1.000.000,00

6.2. Coste del suministro de energía

Teniendo en cuenta el consumo anual indicado en la Tabla 5, se ha obtenido el importe del suministro eléctrico estimado para la instalación OPS a cruceros en el Puerto de Vigo.

En base a la información aportada por una comercializadora para un proyecto similar de OPS a cruceros, se ha estimado el valor del precio eléctrico medio. Asimismo, se ha tenido 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 2003/96/CE, a aplicar un tipo impositivo reducido del impuesto especial sobre la electricidad suministrada directamente a los buques atracados en puerto* [16].

A continuación, se incluye en la Tabla 10 la comparativa de los costes de combustible entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.

Tabla 10. Comparativa de los costes de combustible entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.

	MGO	OPS
Consumo anual (kWh/año)	2.669.420	2.669.420
Coste energía (c€/kWh) ²	9,93	12,594
Coste anual total combustible (€/año)	265.172,90	336.186,72

6.3. Bonificación de la tasa T-1

El coste asociado a la tasa del buque (T-1) se ha estimado según lo recogido en el *Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante* [14], considerando los supuestos recogidos en la Tabla 11.

¹ No se ha considerado el condicionante de obra en casco histórico, ya que no es posible cuantificarlo sin solicitar un presupuesto oficial. Esto podría suponer un incremento sobre la estimación del presupuesto.

² Para el MGO, se ha considerado el valor para MGO en el Puerto de Rotterdam obtenido de [Ship&Bunker](#) (consultado el 19/09/2019), y tomando el cambio de divisa establecido por el [Banco de España](#) (consultado el 19/09/2019).

Tabla 11. Supuestos para el cálculo de la tasa T-1.

SUPUESTOS PARA EL CÁLCULO DE LA TASA T-1	
Información del puerto	
Puerto	Vigo
Información del buque	
Tipo de buque	Crucero turístico (General)
GT (promedio cruceros 2018)	82.543
Nº de escalas anuales (total cruceros 2018)	58
Régimen de atraque y estancia	
Duración de la estancia (promedio cruceros 2018)	9
Atraque en concesión	No
Tipo de atraque	Atraque de costado

Uno de los impactos económicos del sistema OPS es la bonificación del 50% en la tasa T-1³ que grava la estancia de los buques en puerto y que se otorga a aquellos buques que realicen 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.

Tabla 12. Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS.

	MGO	OPS
Bonificación de la Tasa T-1 (€/año)	473.255,80	236.627,90
% Bonificación	0,0%	50,0%
Costes totales Tasa T-1 (€/año)	473.255,80	236.627,90

³ De acuerdo con la Ley 48/2015 de Presupuestos Generales del Estado para el 2016 [15], 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.

7. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Las áreas portuarias suelen estar ubicadas en las principales ciudades y, por tanto, cerca de los hábitats humanos. Por esta razón, los beneficios a nivel ambiental que se consiguen al apagar los motores auxiliares de los buques resultan de vital importancia.

En el presente apartado, se cuantifica la reducción tanto de emisiones como del impacto acústico que supondría la implementación de un sistema OPS en el Muelle de Trasatlánticos, y de la cual se beneficiaría especialmente la población cercana al Puerto de Vigo (Figura 16).



Figura 16. Rangos de afectación de la población según la distancia al Muelle de Trasatlánticos (ver Anexo VI).

En el Anexo VI, se incluyen mapas adicionales con diferentes rangos de afectación a la población, tomando como punto de referencia el Muelle de Trasatlánticos del Puerto de Vigo.

7.1. Reducción de emisiones

A continuación, se cuantifica el impacto ambiental que supondría la sustitución de los motores auxiliares de los cruceros por la utilización del nuevo sistema OPS durante su estancia en puerto. Teniendo en cuenta la demanda energética anual de los cruceros calculada en el apartado 4, en la Figura 17 se resume la reducción de las emisiones (CO₂, NO_x, SO_x, PM₁₀, PM_{2.5}) que se lograría alcanzar con la implementación del sistema OPS.

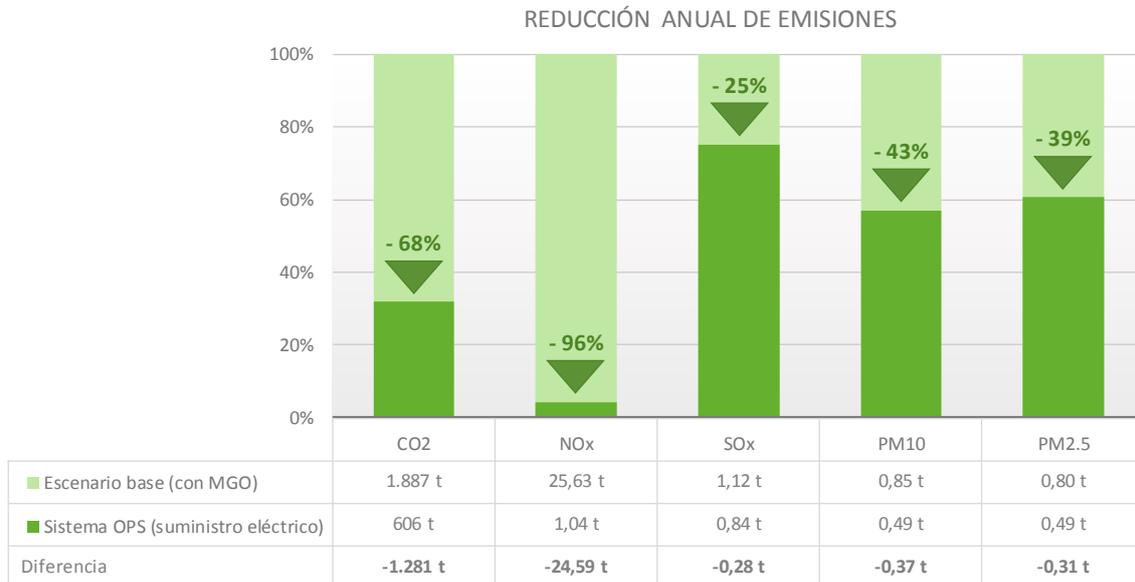


Figura 17. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.

En el Anexo IV se explica la metodología utilizada para la estimación de la reducción de emisiones asociada al apagado de los motores auxiliares de los cruceros en el Puerto de Vigo.

7.2. Reducción del impacto acústico

Para la estimación de la reducción del impacto acústico que se obtendría con la implementación del nuevo sistema OPS, se ha considerado el estudio realizado por Tecnalía “Evaluación del beneficio acústico asociado al sistema Cold Ironing en los puertos” [11]⁴.

Se parte del supuesto de que al aplicar OPS se elimina el ruido procedente de los motores auxiliares y su ventilación, pero se mantiene el resultante de la ventilación asociada a otras actividades de los cruceros.

En la Tabla 13, se indican los niveles de potencia sonora de los cruceros obtenidas dentro del estudio de Tecnalía. A partir de estas mediciones, en el estudio se ha identificado una posible relación entre los niveles de ruido y el tamaño del barco, así como una relación inversa con la antigüedad.

Tabla 13. Mediciones de potencia sonora para los cruceros. Fuente: Tecnalía [11].

Capacidad del buque (GT)	Año de construcción	Niveles Potencia Sonora L _{WA} (dBA)		
		Situación actual	Implementación OPS	Diferencia (reducción sonora)
10.000 – 99.000	< 1980	112	103	8,6
	1981 – 2005	105	95	9,9
	> 2005	103	98	5,5
> 100.000	< 2005	106	99	7,4
	> 2005	106	96	9,3

⁴ Estudio realizado como parte del proyecto europeo “OPS Master Plan for Spanish Ports”, coordinado por Puertos del Estado y financiado a través del programa Connecting Europe Facility (CEF).

A modo de ejemplo, en la Figura 18 de la página siguiente se muestra la ficha descriptiva de una de las mediciones realizadas a un crucero de GT 10.000-99.000 y año de construcción > 2.005, cuantificándose la emisión acústica de los focos de ruido e indicando si modifica su emisión en el escenario de OPS o no. Finalmente, esta ficha representa la emisión acústica del conjunto del buque en ambos escenarios.

En base a lo anterior, se estima que la implementación del nuevo sistema OPS para la conexión eléctrica de cruceros en el Puerto de Vigo, podría suponer una **reducción de entre 6 y 10 dB de potencia sonora**. Finalmente, cabe destacar que estas embarcaciones son las de mayor incertidumbre en cuanto a la potencia de motores auxiliares y modo de funcionamiento de los equipos de ventilación y refrigeración. Esto último viene directamente relacionado, entre otros factores, con las actividades que se puedan desarrollar durante la estancia del buque en puerto, así como con el número de pasajeros que se encuentren a bordo.

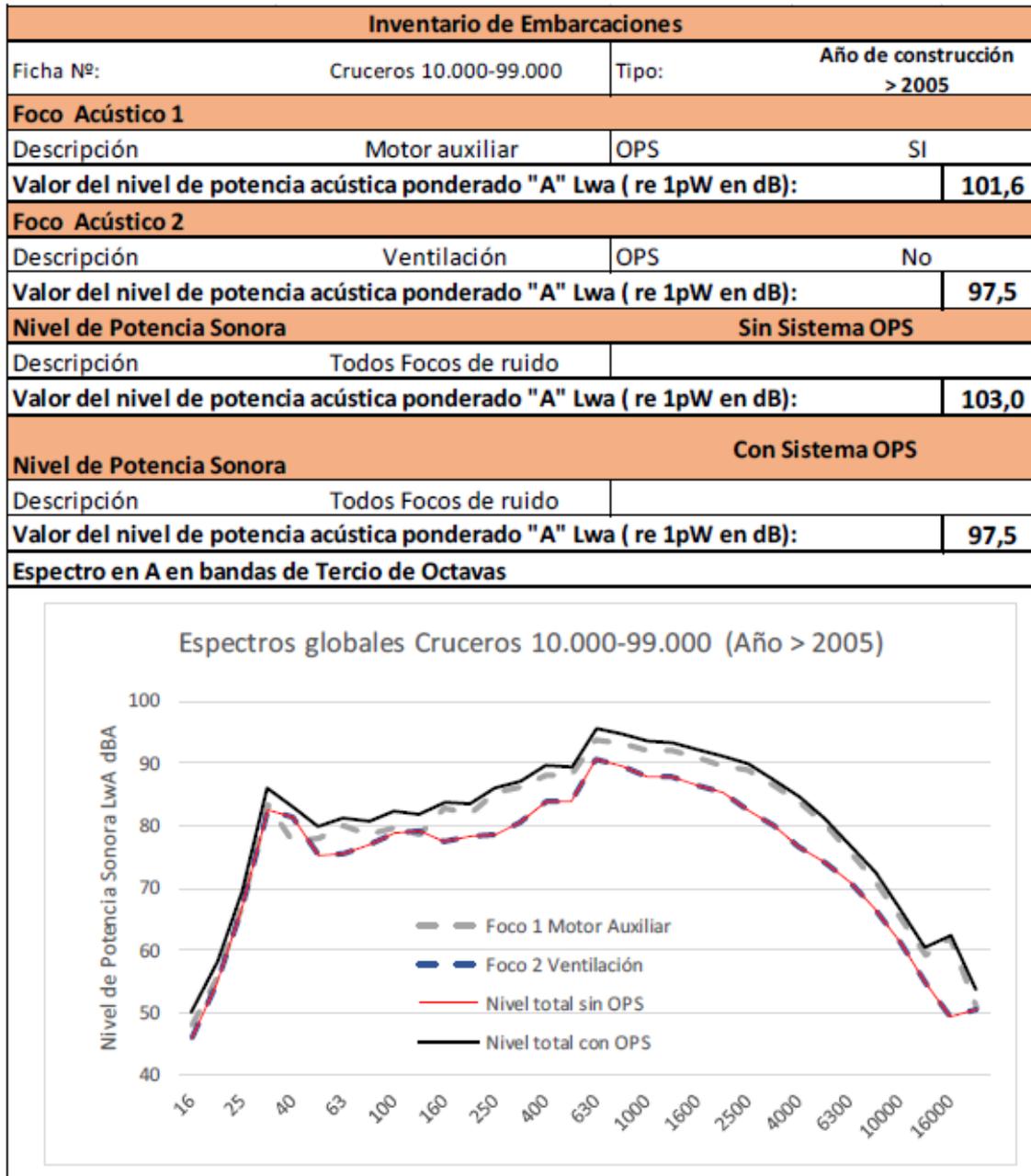


Figura 18. Ejemplo de ficha descriptiva de una de las mediciones realizadas a una tipología de crucero.
 Fuente: Tecnalia [11].

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio, se ha analizado la viabilidad para la implantación de un nuevo sistema OPS para la conexión eléctrica de cruceros durante su estancia en el Muelle de Trasatlánticos del Puerto de Vigo.

Para ello, el primer paso necesario ha sido realizar una estimación de la demanda de estos buques. Dada la baja frecuencia de escalas dobles, se ha considerado una simultaneidad de suministro igual a uno, obteniéndose la demanda indicada en la Tabla 14.

Tabla 14. Demanda anual de cruceros en el Puerto de Vigo, considerando simultaneidad 1.

DEMANDA ELÉCTRICA DE CRUCEROS EN EL PUERTO DE VIGO – SIMULTANEIDAD 1	
% Demanda total cruceros	87,8%
Demanda media anual (kWh)	2.669.420
Potencia media requerida (kW)	7.130
Potencia media requerida (kVA)	8.913
Potencia máxima requerida (kW)	10.695
Potencia máxima requerida (kVA)	13.369

En base a esta demanda, se ha definido la solución técnica que se resume a continuación en la Figura 22 y en la Tabla 15.

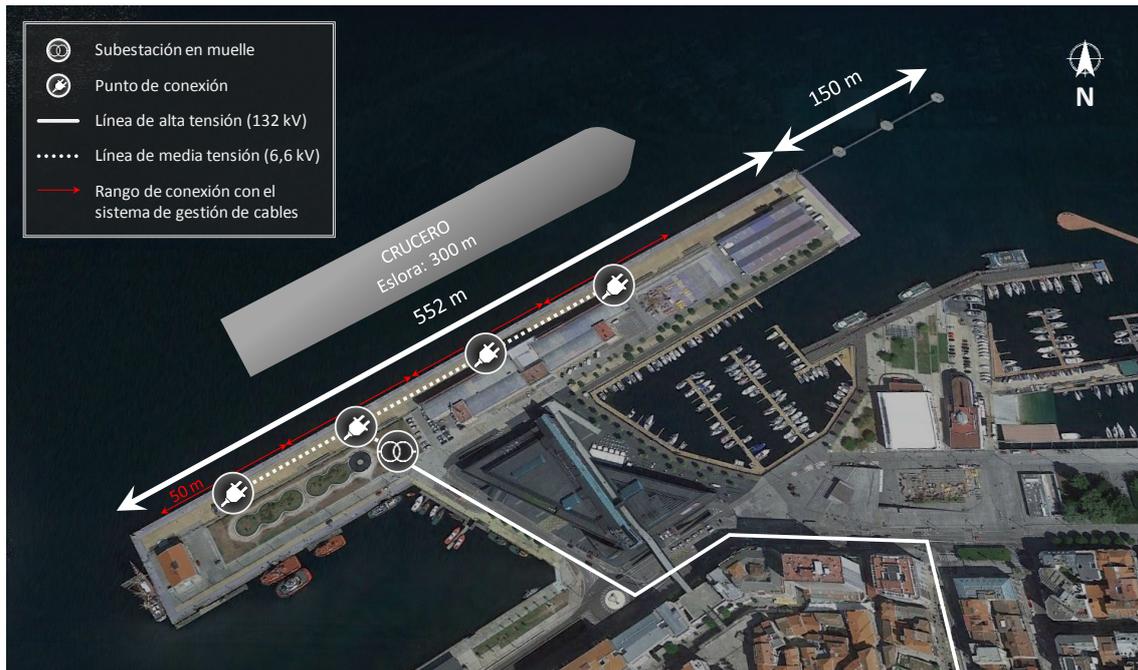


Figura 19. Esquema de la configuración del sistema OPS en el Muelle de Trasatlánticos.

Tabla 15. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Muelle de Trasatlánticos.

SOLUCIÓN RECOMENDADA – OPS CRUCEROS	
Ubicación de la instalación	Muelle de Trasatlánticos
Simultaneidad de suministro	1
Puntos de conexión	4
Potencia en muelle necesaria (MW)	13
Potencia en muelle necesaria (MVA)	16
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa móvil

Por otra parte, es necesario realizar una ampliación de la red eléctrica hasta la nueva Subestación portuaria. En concreto, sería necesario llevar una línea de alta tensión (132 kV) desde la Subestación del Castro hasta la nueva Subestación del Muelle de Trasatlánticos, tal y como se muestra de forma orientativa en la Figura 20.



Figura 20. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.

En cuanto a los costes asociados a la implementación del nuevo sistema OPS para cruceros, en la Tabla 16 a continuación se resumen las estimaciones para la inversión inicial y la comparativa de costes variables para cada una de las alternativas (la actual con MGO y el nuevo sistema OPS).

Tabla 16. Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.

	MGO	OPS
Inversión inicial (M€)	0,00	10,55
Ampliación de la red eléctrica (M€)	-	6,23
Instalaciones portuarias (M€)	-	4,32
Gastos anuales (€/año)	738.428,70	572.814,62
Coste combustible (€/año)	265.172,90	336.186,72
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	473.255,80	236.627,90

Por otra parte, se ha cuantificado el impacto ambiental que supondría la sustitución de los motores auxiliares de los cruceros por la utilización del nuevo sistema OPS durante su estancia en puerto, el cual se resume en la Figura 21.

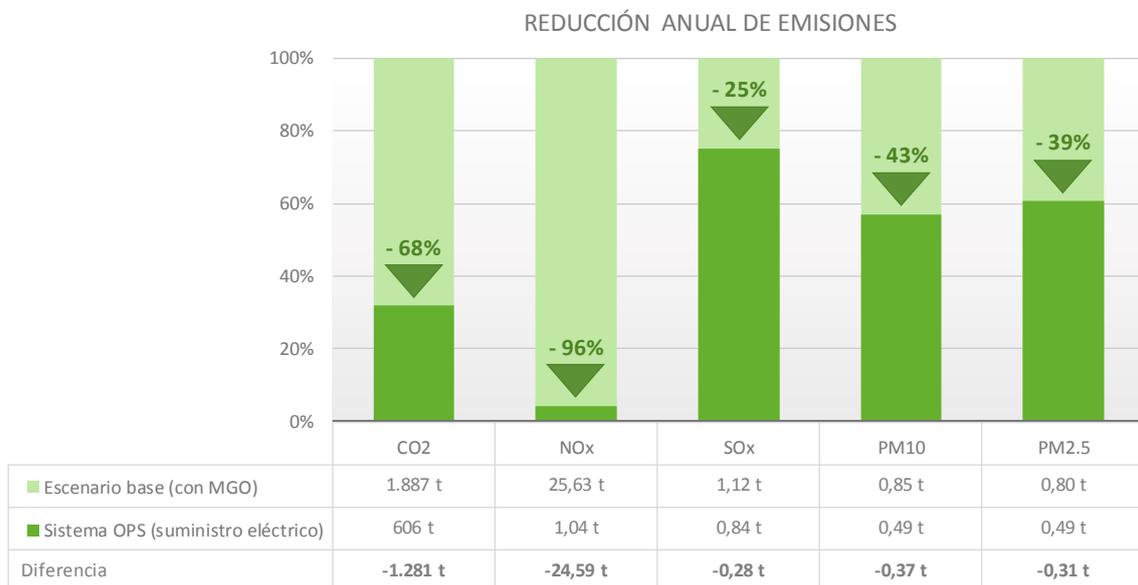


Figura 21. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.

Finalmente, se estima que la implementación del nuevo sistema OPS para la conexión eléctrica de cruceros en el Puerto de Vigo, podría suponer una **reducción de entre 6 y 10 dB de potencia sonora.**

9. REFERENCIAS Y ENLACES DE INTERÉS

- [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.* Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2014/307/L00001-00020.pdf>
- [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.* Disponible en:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0033&from=EN>
- [3] *Reglamento (UE) nº 1315/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, sobre las orientaciones de la Unión para el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte, y por el que se deroga la Decisión nº 661/2010/UE.* Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2013/348/L00001-00128.pdf>
- [4] *Reglamento (UE) nº 1316/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, por el que se crea el Mecanismo “Conectar Europa”, por el que se modifica el Reglamento (UE) nº 913/2010 y por el que se derogan los Reglamentos (CE) nº 680/2007 y (CE) nº 67/2010.* Disponible en:
<https://www.boe.es/doue/2013/348/L00129-00171.pdf>
- [5] *IEC/ISO/IEEE 80005-1. Utility connections in port – Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) Systems – General requirements.* Geneva: International Electrotechnical Commission, 2019. Disponible en:
<https://www.iso.org/standard/64717.html>
- [6] ERICSSON, P., y FAZLAGIC, I. *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.* Göteborg: Chalmers University of Technology, 2008. Disponible en:
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174062/174062.pdf>
- [7] TROZZI, C. *Emission estimate methodology for maritime navigation.* Roma (Italia): Techne Consulting srl, 2010. Disponible en:
<https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei19/session10/trozzi.pdf>
- [8] STARCREST CONSULTING GROUP, LLC. *White Bay Cruise Terminal Shore Power Analysis – Final Report prepared for the port authority of New South Wales.* 2017. Disponible en:
https://www.portauthoritiesnsw.com.au/media/2568/appendix-2_shore-power-analysis-cost-and-benefits-study-starcrest.pdf
- [9] BY & HAVN, y COPENHAGEN MALMÖ PORT (CMP). *Options for establishing shore power for cruise ships in Port of Copenhagen Nordhavn.* Copenhagen: City& Port Development, CMP and the City of Copenhagen, 2015. Disponible en:
<https://www.danskehavne.dk/wp-content/uploads/2015/12/GP-CMP-Shoreside-Report.pdf>
- [10] ESPINOSA, S., CASALS-TORRENS, P., y CASTELLS, M. *Hotelling Cruise Ship’s Power Requirements for High Voltage Shore Connection Installations.* *Journal of Maritime Research.* Cantabria: Spanish Society of Maritime Research (SEECMAR), 2016, **13**(2), pp. 19-28. ISSN 1697-4040. Disponible en:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/116649/JMR_2016_Hotelling.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [11] TECNALIA. *Evaluación del beneficio acústico del sistema Cold Ironing en Puertos*. Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia, 2018. Disponible en:
http://poweratberth.eu/wp-content/uploads/2017/06/Reducci%C3%B3n-impacto-sonoro-de-buques-en-atraque-mediante-OPS_small.pdf
- [12] INOVA LABS. *Medidas para la dotación de suministro eléctrico a buques en los puertos de interés general*. 2016. Disponible en:
http://poweratberth.eu/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_category_id=86&wpfd_file_id=1595
- [13] *OPS Master Plan for Spanish Ports. Evaluación del impacto ambiental causado por las emisiones procedentes de los buques en atraque* [Online]. Disponible en:
http://poweratberth.eu/?page_id=1219&lang=es
- [14] *Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante*. Disponible en:
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-16467-consolidado.pdf>
- [15] *Ley 48/2015, de 29 de octubre, de Presupuestos Generales del Estado para el año 2016*. Disponible en:
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-11644-consolidado.pdf>
- [16] *Decisión de Ejecución (UE) 2018/1491 del Consejo, de 2 de octubre de 2018, por la que se autoriza a España, de conformidad con el artículo 19 de la Directiva 2003/96/CE, a aplicar un tipo impositivo reducido del impuesto especial sobre la electricidad suministrada directamente a los buques atracados en puerto*. Disponible en:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018D1491&from=ES>
- [17] DNV-GL. *Onshore Power Supply for Cruise Vessels. Assessment of opportunities and limitations for connecting cruise vessels to shore power*. 2018. Disponible en:
http://www.greencruiseport.eu/files/public/download/studies/Opportunities%20and%20Limitations%20for%20Connecting%20Cruise%20Vessels%20to%20Shore%20Power_04.01.2018_Bergen.pdf

Enlaces de interés

[Puerto de Vigo](#) ↗

[World Ports Climate Initiative \(WPCI\)](#) ↗

[OPS Master Plan for Spanish Ports](#) ↗

[Red Eléctrica de España](#) ↗

[Ship&Bunker \(coste MGO\)](#) ↗

ANEXO I. Comparación de alternativas

En el presente anexo, se presenta la comparación de alternativas para el suministro eléctrico a buques durante su estancia en puerto:

- **OPS (Onshore Power Supply):** Esta técnica consiste en la conexión a la red general eléctrica de los buques atracados en el puerto. Las soluciones y los equipos necesarios pueden variar en cada caso, pero el esquema general es común en cada caso:
 - Acometida de la red eléctrica nacional.
 - Acondicionamiento de la energía eléctrica.
 - Gestión de cables.
 - Conexión buque-muelle y suministro eléctrico.

Esta opción permite eliminar la totalidad de las emisiones generadas en muelles, y a nivel global, una reducción significativa de las mismas, que será mayor cuanto mayor sea el aporte de energías renovables en la generación de energía eléctrica a nivel estatal.

- **OGSP (Off-Grid Shore Power):** En este caso, la generación de electricidad se produce in situ en el mismo muelle a partir de gas natural licuado (GNL). De esta forma, la conexión a la red eléctrica no es necesaria el suministro eléctrico a los buques se produce de forma autosuficiente. Para esta alternativa, es necesario tener en cuenta la cadena logística para el abastecimiento de GNL. Asimismo, es necesario contar con un sistema de almacenamiento de GNL y con generadores con la capacidad suficiente para satisfacer la demanda eléctrica de los buques. Los sistemas de gestión de cables, así como los equipos de conexión buque-muelle, son comunes a la alternativa OPS. Esta opción permite eliminar en puerto prácticamente la totalidad de emisiones de partículas y de SO_x, y reducir significativamente el porcentaje de emisiones de CO₂ (48% menos) y NO_x (52%).

A continuación, se incluye en la Tabla 17 una comparación de los costes de inversión necesarios para cada una de las opciones contempladas.

Tabla 17. Comparación de la inversión inicial necesaria las alternativas de OPS u OGSP.

INVERSIÓN INICIAL (€)	OPS	OGPS
Ampliación de potencia	6.230.000,00	-
Acometida red eléctrica desde Subestación del Castro	6.230.000,00	-
Sistema de generación de electricidad en muelle	-	14.530.000,00
Equipos de generación eléctrica y almacenamiento de GNL ⁵	-	14.530.000,00
Instalaciones portuarias	4.319.450,40	1.054.450,40
Equipos eléctricos	3.265.000,00	-
4 puntos de conexión	54.450,40	54.450,40
Sistema de manejo de cables	1.000.000,00	1.000.000,00
TOTAL	10.549.450,40	15.584.450,40

⁵ Dato estimado a partir de proyectos similares.

Como puede observarse, la inversión necesaria para la implementación de la alternativa OGPS supera en más de 5 M€ a la inversión para el caso de la opción OPS.

En cuanto al coste de la energía necesaria, en la Tabla 18 a continuación se presentan las consideraciones tenidas en cuenta para el cálculo del coste asociado a la generación de electricidad con GNL (alternativa OGSP).

Tabla 18. Consideraciones para la estimación del coste de generación eléctrica con GNL.

ESTIMACIÓN DEL COSTE DE GENERACIÓN CON GNL (OGSP)	
Coste GNL (€/MWh)	19,69
Impuesto de hidrocarburos (€/MWh)	4,14
Peajes (€/MWh)	1,30
Transporte (€/MWh)	1,50
Molécula (€/MWh)	12,75
Demanda de GNL (kWh/año)	7.024.789
Demanda eléctrica buques (kWh/año)	2.669.420
Eficiencia del generador	38%

Finalmente, en la Tabla 19 se compara el coste de la energía en cada caso: coste total de la electricidad en el caso OPS, y coste del GNL para la alternativa OGSP.

Tabla 19. Comparativa de los costes de combustible entre las alternativas OPS y OGSP.

COSTE ENERGÉTICO	OPS (Electricidad)	OGSP (GNL)
Consumo anual de energía (kWh/año)	2.669.420	7.024.789
Coste energía (c€/kWh)	12,594	1,1969
Coste anual total combustible (€/año)	336.186,72	138.318,09

En la comparativa anterior, se aprecia una diferencia notable en el coste del combustible. Sin embargo, el ahorro que se lograría debido al menor coste del GNL frente a la electricidad no compensaría la mayor inversión en las infraestructuras necesarias.

ANEXO II. 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 22.

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

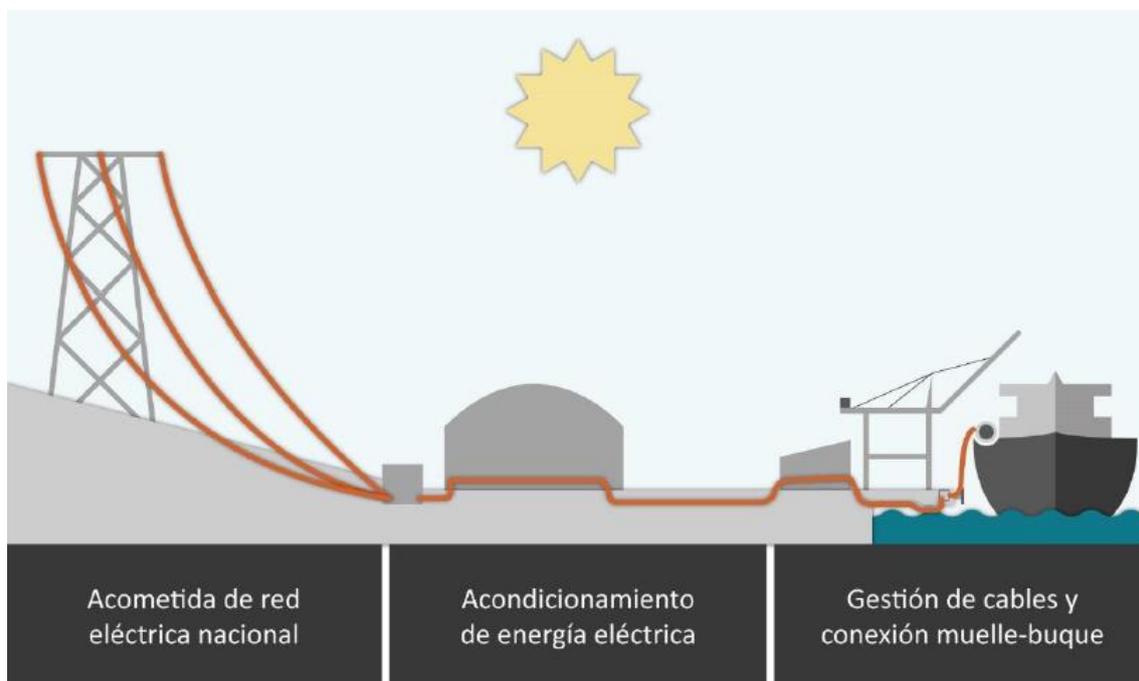


Figura 22. Componentes principales de una instalación OPS en puerto.

Acometida a la Red Eléctrica Nacional

En el caso del Muelle de Trasatlánticos del Puerto de Vigo, el punto más cercano para la acometida con potencia necesaria es la Subestación situada fuera de las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Vigo, concretamente en el Castro.

Por lo tanto, sería necesario realizar una ampliación de la red eléctrica hasta la nueva Subestación que se instale en el Muelle de Trasatlánticos descrita en el apartado 5.2. En concreto, sería necesario llevar una línea de alta tensión (132 kV) desde la Subestación del Castro hasta la nueva Subestación del Muelle de Trasatlánticos.

De forma orientativa, se estima que la acometida a la red eléctrica planteada tendría una longitud total aproximada de 1,1 km.

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. Esto se hace mediante un transformador dimensionado para la potencia necesaria en el punto de conexión. 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 u 11 kV.

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 la instalación de una Subestación 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 energía eléctrica tiene las medidas y características que se muestran en la Figura 19.

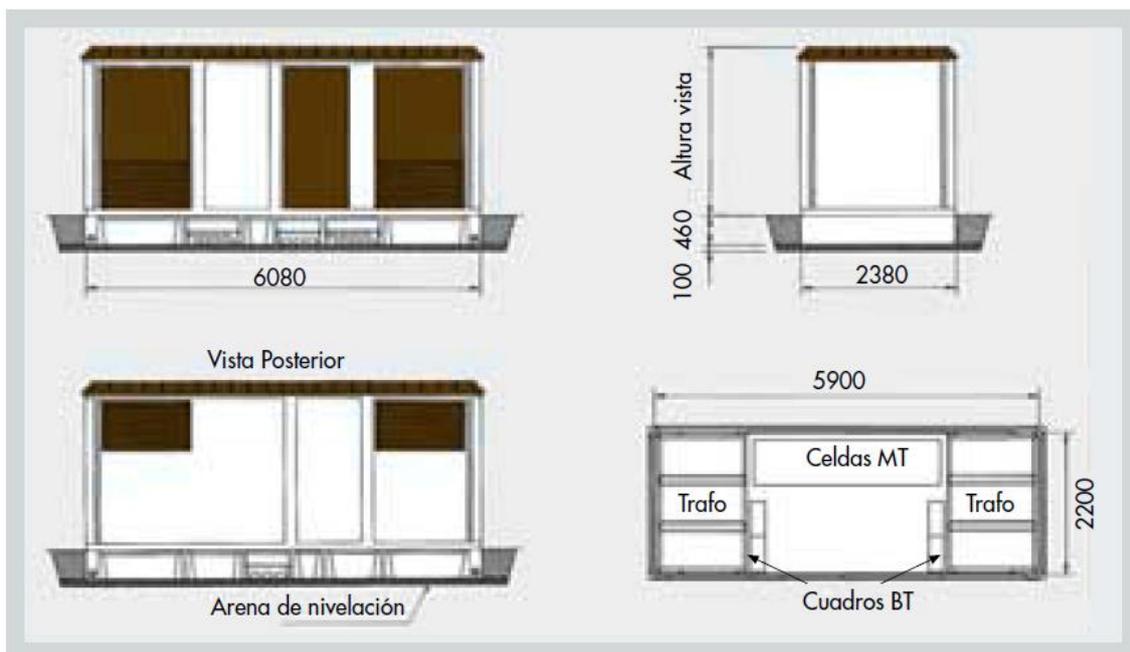


Figura 23. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS.
Fuente: Ormazabal.

Otro punto a tener en cuenta es la frecuencia de suministro del buque. Los cruceros seleccionados en el estudio trabajan a diferentes frecuencias (50 y 60 Hz). Por este motivo, se ha incluido en la configuración de los equipos eléctricos, convertidores de frecuencia

electrónicos 50/60 Hz, de manera que todos los cruceros puedan ser conectados sin ningún problema a la red eléctrica.

Finalmente, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas anteriormente, es necesario instalar un Sistema de Interconexión Red de Alta Tensión a 132 kV y 50 Hz del lado tierra, hasta la tensión normalizada 6,6 kV y 60 Hz del lado buque a los que se va a llevar a cabo el suministro.

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 en 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.

En el primer caso, es necesario instalar en el propio muelle un sistema que permita una conexión rápida con el cable extendido por el buque. Este tipo de sistemas se denomina caja de conexiones. Se trata de pequeñas estructuras instaladas en el propio muelle a escasos metros del buque, donde se encuentran la toma eléctrica necesaria para la conexión del cable de suministro de energía eléctrica.

Dado que no se observan limitaciones de espacio y debido a la propia estructura del muelle, se propone la instalación de cajas de conexiones de tipo vertical (Figura 1). Estos sistemas son equivalentes a armarios eléctricos donde se encuentran las conexiones eléctricas. Para su conexión, el operario encargado de hacer la conexión debe abrir el armario, y enchufar y enclavar el cable que le suministra el buque al conectar que está dentro del armario eléctrico.



Figura 24. Procedimiento de conexión (izquierda) y buque conectado a un OPS en una caja de conexiones vertical (derecha).

Por otra parte, para la gestión de cables en el caso de estudio, se propone la utilización de una grúa móvil, como la que se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Ejemplo de grúa móvil para la gestión de cables. Fuente: Cavotec.

ANEXO III. Metodología para el cálculo de la potencia

La potencia demandada por los cruceros durante su estancia en puerto se ha estimado como el promedio de las potencias obtenidas a partir de diferentes parámetros del buque:

- Eslora.
- Gross Tonnage (GT).
- Capacidad (número de pasajeros).

La relación entre la potencia y estos parámetros se ha determinado en base a los estudios que se describen a continuación.

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

(Referencia Tabla 3: *Chalmers [6]*)

Este estudio de la Universidad de Chalmers investiga los voltajes nominales y las frecuencias más comunes para buques con energía eléctrica de la red, determina el potencial de los puertos para abastecer a los buques, examina las necesidades específicas de la electrificación desde el muelle al buque para diferentes tipos de puertos y embarcaciones.

El estudio analiza las demandas de potencia a bordo mientras el buque está atracado, los voltajes y frecuencias del sistema para diferentes tipos de embarcaciones. Los tipos de embarcaciones incluidos son buques portacontenedores, Ro-Ro, petroleros y, finalmente, cruceros. Para este informe, las referencias relevantes del estudio son las de los cruceros.

El estudio de la Universidad de Chalmers ha analizado la demanda de potencia, la frecuencia del sistema y el voltaje de operación para 40 buques de pasajeros. Para cada uno de ellos ha obtenido los valores de eslora, GT, capacidad, potencia generada por el motor auxiliar y la demanda de potencia en puerto.

De acuerdo con estos valores, se han establecido las siguientes relaciones entre los parámetros del buque (eslora, GT y capacidad) y la potencia necesaria durante la estancia en puerto:

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 26,889 \cdot [\text{Eslora (m)}] + 131,76 \quad \text{Eq. 1}$$

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 0,0457 \cdot [\text{GT}] + 3.484,9 \quad \text{Eq. 2}$$

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 1,4761 \cdot [\text{Capacidad (nº pasajeros)}] + 3.721,4 \quad \text{Eq. 3}$$

Este estudio también se ha tenido en cuenta para determinar el factor de potencia considerado (1,50), obtenido a partir de los datos de potencia media y máxima en puerto para distintos tipos de buques que se incluyen en el informe.

Emission estimate methodology for maritime navigation

(Referencia Tabla 3: *Trozzi [7]*)

Este documento describe en detalle la metodología más completa para la estimación de emisiones en cruceros (mar abierto), maniobras (aproximación a puerto) y en atraque (en el muelle del puerto).

En el informe, las ecuaciones de la potencia del motor principal instalado se han obtenido en función del tonelaje bruto (GT) para diferentes tipos de buques. Por otro lado, también calcularon la relación promedio estimada de embarcaciones de los motores auxiliares/motores principales por tipo de embarcación. Para este informe, las referencias relevantes del estudio son las de los cruceros.

En base a lo anterior, se estima la potencia demandada por los cruceros durante su estancia en puerto a partir de la ecuación Eq. 4.

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 0,16 \cdot (9,551 \cdot [\text{GT}]^{0,76}) \quad \text{Eq. 4}$$

White Bay Cruise Terminal Shore Power Analysis – Final Report prepared for the port authority of New South Wales

(Referencia Tabla 3: *White Bay [8]*)

Este estudio ha sido llevado a cabo por la Autoridad Portuaria de Gales del Sur en el análisis de la conexión eléctrica en tierra de los cruceros de la Terminal de Cruceros de White Bay.

El informe incluye datos sobre la potencia promedio de los cruceros durante el atraque en el muelle, dependiendo del número de pasajeros de cada embarcación. A partir de estos datos, se calcula la demanda demandada según el número de pasajeros de acuerdo a la ecuación Eq. 5.

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 3,118 \cdot [\text{Capacidad (nº pasajeros)}] + 591,48 \quad \text{Eq. 5}$$

Options for establishing shore power for cruise ships in Port of Copenhagen Nordhavn

(Referencia Tabla 3: *By & Havn [9]*)

Estudio encargado conjuntamente por la Ciudad de Copenhague y la Autoridad Portuaria de Malmö, para evaluar las opciones de implantación de un sistema OPS para la conexión de cruceros durante su estancia en puerto.

En el informe se establece de forma general la relación entre el número de pasajeros y la potencia demandada por los buques, de acuerdo a la ecuación Eq. 6.

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 2,5 \cdot [\text{Capacidad (nº pasajeros)}] \quad \text{Eq. 6}$$

Hotelling Cruise Ship's Power Requirements for High Voltage Shore Connection Installations (Espinosa)

(Referencia Tabla 3: *Espinosa [10]*)

El principal objetivo de este artículo es el estudio teórico y cuantitativo de los requisitos de potencia que se deben considerar en cualquier puerto para el desarrollo de conexiones OPS. En particular, el estudio se centra en los requisitos de los cruceros y toma como referencia el Puerto de Barcelona.

El artículo proporciona recomendaciones para la estimación de los principales parámetros de diseño (voltaje, frecuencia y potencia para las conexiones), además de presentar diferentes modelos para estimar la potencia demandada por los buques durante el atraque. Asimismo, incluye un análisis de impacto ambiental (reducción de emisiones) derivado de la implantación del sistema OPS.

A continuación, se incluyen los modelos para el cálculo de la potencia establecidos en el artículo. Nótese que en el caso de la ecuación Eq. 7, ésta se corresponde con la relación entre eslora y potencia determinada a partir del estudio de la Universidad de Chalmers (ecuación Eq. 1). Por lo tanto, en este caso no se tiene en cuenta para los cálculos y solo se utiliza la Eq. 1.

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 26,889 \cdot [\text{Eslora (m)}] + 131,76 \quad \text{Eq. 7}$$

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 1.767,8 \cdot \ln(\text{GT}) - 12.577 \quad \text{Eq. 8}$$

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 84,71 \cdot [\text{GT}]^{0,3964} \quad \text{Eq. 9}$$

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 1.723,6 \cdot \ln(\text{GT}) - 12.452 \quad \text{Eq. 10}$$

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 69,702 \cdot [\text{GT}]^{0,4096} \quad \text{Eq. 11}$$

ANEXO IV. Metodología para el cálculo de las emisiones

La reducción de las emisiones asociada a la desactivación de los motores auxiliares de los cruceros en el Puerto de Vigo se ha calculado en función de la demanda energética anual, los factores de emisión de CO₂, NO_x, SO_x, PM₁₀ 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 Vigo, 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 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 20. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes.

Fuente: OPS Master Plan for Spanish Ports [13].

Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg)	Factor de Emisión (kg/kWh)
CO ₂	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 _x	2,1 gr/kg TUD: gr SO _x /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 _x	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 ₁₀	1,6 kg/ton (EEA)	0,32 gr/kWh
PM _{2,5}	1,5 kg/ton (EEA)	0,3 gr/kWh

En la Tabla 20, 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 ecuación Eq. 12.

$$E_i = AE \cdot t \cdot FE_i$$

Eq. 12

Donde:

- $E(t)$: Toneladas del contaminante i .
- $AE (kW)$: Potencia de los motores auxiliares.
- $t (horas)$: Tiempo.
- $FE_i (t/kWh)$: Factor de emisión del contaminante i .

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 21 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 cruceros en el Puerto de Vigo.

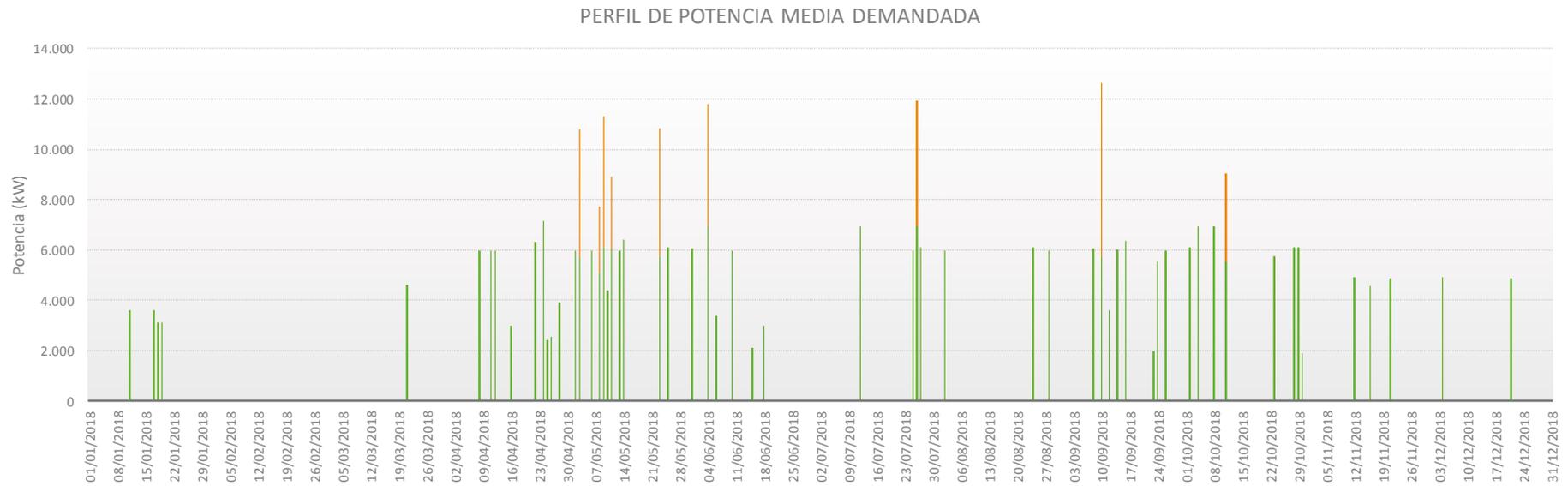
Tabla 21. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE.



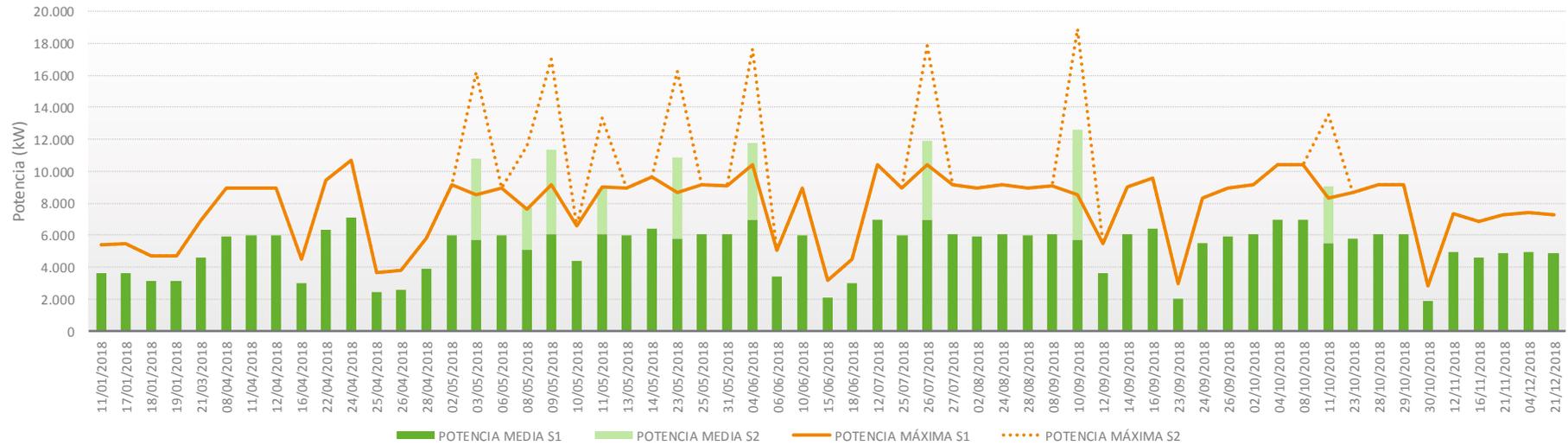
Balance eléctrico anual nacional (GWh)

	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

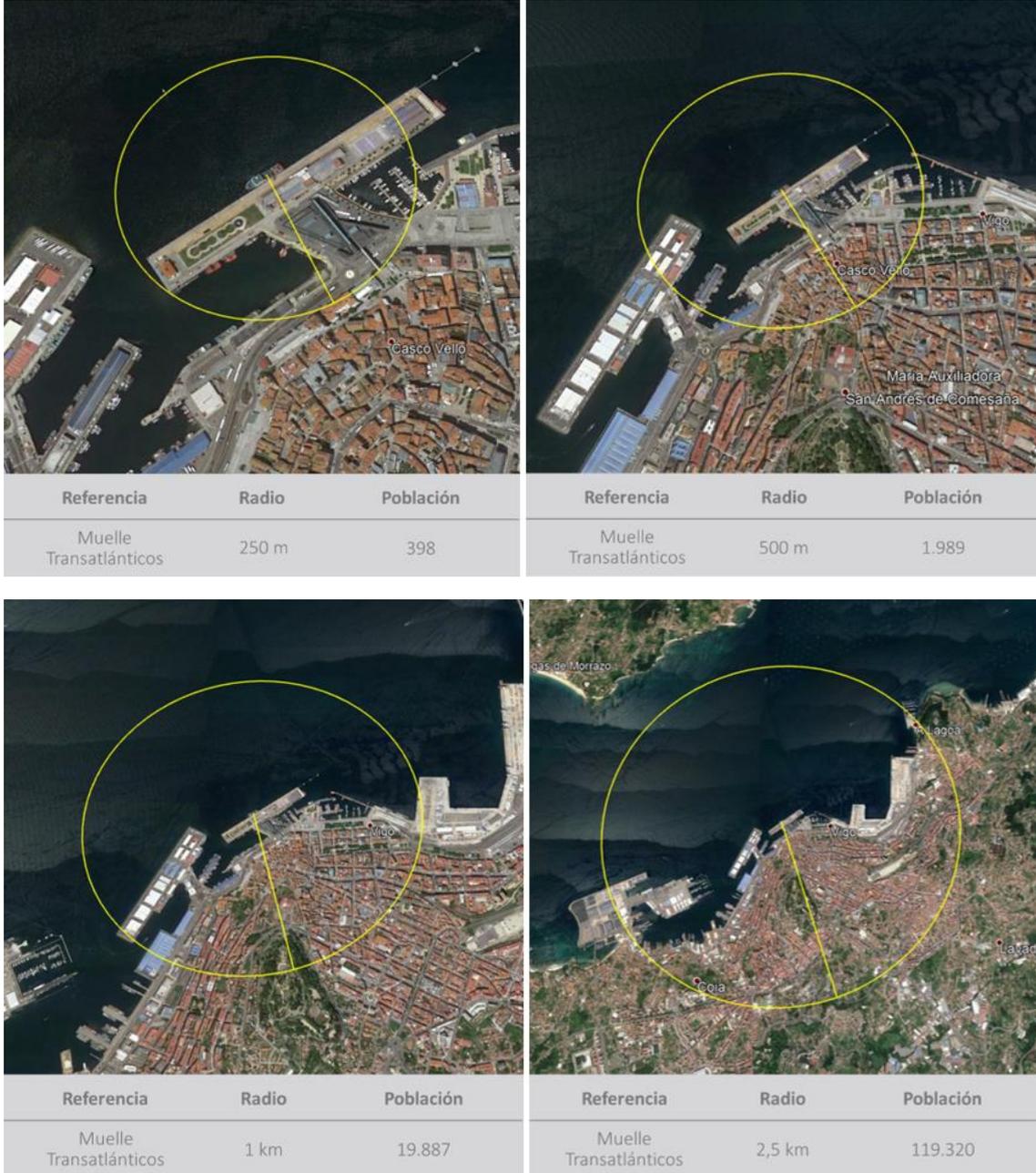
ANEXO V. Perfiles de demanda



PERFIL DE POTENCIA DEMANDADA POR LOS CRUCEROS EN EL PUERTO DE VIGO

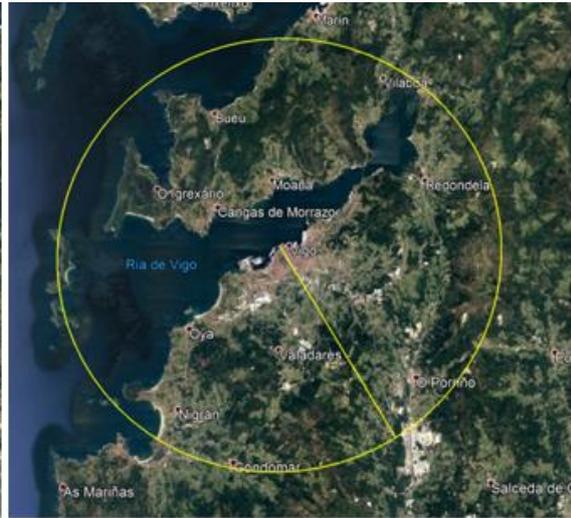


ANEXO VI. Rangos de afectación cruceros Puerto de Vigo

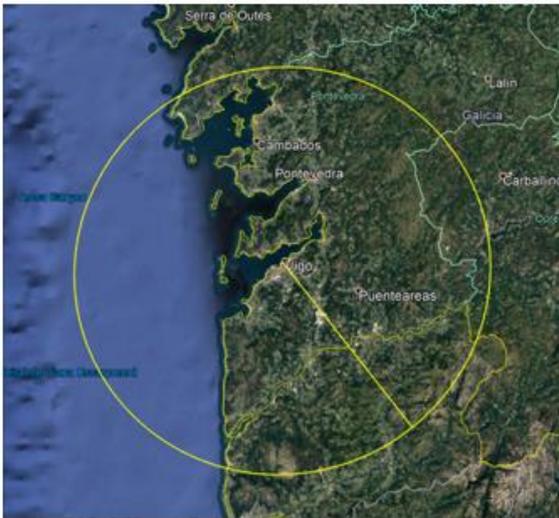




Referencia	Radio	Población
Muelle Transatlánticos	5 km	223.205



Referencia	Radio	Población
Muelle Transatlánticos	15 km	452.238



Referencia	Radio	Población
Muelle Transatlánticos	50 km	1.038.901