



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



2015-EU-TM-0417-S

OPS MASTER PLAN FOR SPANISH PORTS

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA IMPLANTACIÓN DE OPS A
CRUCEROS EN EL PUERTO DE MÁLAGA



ÍNDICE

Lista de Figuras.....	3
Lista de Tablas	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. ALCANCE DEL ESTUDIO	8
3. ESCENARIO OBJETIVO EN EL PUERTO DE MÁLAGA.....	9
3.1. MUELLE OBJETIVO.....	9
3.2. BUQUES OBJETIVO	12
4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS.....	14
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	15
4.2. SOLUCIÓN RECOMENDADA	18
4.2.1. Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh).....	18
4.2.2. Voltaje y frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle.....	18
4.2.3. Potencia instalada necesaria para la instalación eléctrica en muelle	18
4.2.4. Factor de picos de demanda	19
4.2.5. Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en tierra/muelle	20
5. BENEFICIOS SOCIALES DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN DE OPS.....	21
5.1. ESTUDIO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES	22
5.2. REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO	23
6. ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO.....	26
6.1. INVERSIÓN.....	26
6.1.1. Coste de la inversión en muelle	27
6.1.2. Coste de la inversión del sistema de manejo de cables.....	28
6.2. GASTO OPERACIONAL	29
6.2.1. Gasto anual de suministro de energía	30
6.2.2. Gasto anual para personal de operación	31
6.2.3. Gasto anual de mantenimiento.....	31
6.3. OTROS FACTORES E IMPACTOS ECONÓMICOS.....	31

6.3.1.	Monetización de las emisiones	31
6.3.2.	Bonificación de la tasa T-1.....	32
6.4.	ESTUDIO DE RENTABILIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	34
6.4.1.	Rentabilidad del sistema OPS sin financiaciones	34
6.4.2.	Rentabilidad del sistema OPS con financiaciones.....	35
7.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	36
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
	ANEXO 1. Configuración de los componentes de una instalación OPS.	41
	ANEXO 2. Metodología para el cálculo de la potencia.....	50
	Cálculo de la demanda media en función de la eslora.....	50
	Cálculo de la demanda media en función del GT.....	52
	Cálculo de la demanda media en función del número de pasajeros	53
	Cálculo de los picos de la demanda	54
	ANEXO 4. Rangos de afección cruceros Puerto de Málaga.....	56
	ANEXO 5. Metodología para el cálculo de las emisiones.....	58
	ANEXO 6. Gráficos de potencia media y demanda eléctrica anual de los cruceros seleccionados en el Puerto de Málaga.	61

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques.	7
Figura 2. Vista aérea del Puerto de Málaga.	9
Figura 3. Ubicación para el nuevo sistema OPS a cruceros en el Puerto de Málaga.	10
Figura 4. Localización de las pasarelas mecánicas de acceso a cruceros en el Puerto de Málaga.	11
Figura 5. Número de atraques y horas anuales de estancia de los cruceros seleccionados en el Puerto de Málaga.	13
Figura 6. Distribución de la red de suministro a cruceros en el Puerto de Málaga.	15
Figura 7. Potencia media estimada para los cruceros seleccionados en el Puerto de Málaga (Ver ANEXO 6).	17
Figura 8. Demanda eléctrica media para cada hora del año 2017 en el muelle de cruceros Norte del Puerto de Málaga (Ver ANEXO 6).	17
Figura 9. Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle.	20
Figura 10. Rangos de afección según distancia en el Puerto de Málaga (Ver ANEXO 4)	22
Figura 11. Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS.	23
Figura 12. Ficha descriptiva de una de las mediciones realizadas a una tipología de crucero.	25
Figura 13. Plano de la acometida a la red eléctrica de 66 kV.	27
Figura 14. Grúa de manipulación de manguera eléctrica para el suministro OPS.	29
Figura 15. Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS.	37
Figura 16. Componentes principales de una instalación OPS en puerto.	41
Figura 17. Localización de las subestaciones en la cercanía del Puerto de Málaga. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.	42
Figura 18. Plano de la acometida a la red eléctrica a 66 kV.	43
Figura 19. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal.	44
Figura 20. Medidas del muelle de cruceros en el Puerto de Málaga.	46
Figura 21. Sección del muelle de atraque "Cruceros Norte" del Puerto de Málaga.	47
Figura 22. Sistema de manejo de cables en el Puerto de Hamburgo. Fuente: Stemman-Technik.	47
Figura 23. Sistema de manejo de cables en el Puerto de Los Ángeles. Fuente: Cavotec.	48
Figura 24. Sistema de manejo de cables en el Puerto de Hamburgo. Fuente: Cavotec.	49

Figura 25. A feasibility study and a technical solution for an onshore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. /6/ 51

Figura 26. White Bay Cruise Terminal shore power analysis. Port Authority of New South Wales. 53

Figura 27. Modelización energética de un crucero. Línea verde: carga de los motores auxiliares (AE_load). Fuente: Baldi et al. (2015). 54

Figura 28. Ecuación utilizada para el cálculo de las emisiones de cada contaminante. 59

Lista de Tablas

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de la demanda media de cruceros.....	16
Tabla 2. Resumen de las soluciones recomendadas para la implantación de OPS en la AP Málaga.	21
Tabla 3. Reducción de emisiones asociada a la sustitución de los motores auxiliares por el sistema OPS.....	22
Tabla 4. Mediciones de potencia sonora para los cruceros.....	24
Tabla 5. Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS....	26
Tabla 6. Comparativa de la inversión en muelle entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.	27
Tabla 7. Coste de la inversión en muelle para implantación de OPS a cruceros en el Puerto de Málaga.....	28
Tabla 8. Inversión estimada para el sistema de manejo de cables.....	29
Tabla 9. Comparativa de los gastos anuales entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS. ..	30
Tabla 10. Gasto anual de suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Málaga.....	30
Tabla 11. Gasto anual de mantenimiento para los motores auxiliares en el sistema actual.	31
Tabla 12. Monetización de las emisiones contaminantes del sistema actual y del nuevo sistema OPS.....	32
Tabla 13. Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS.....	33
Tabla 14. Comparativa económica con la monetización de las emisiones y la bonificación de la tasa T-1.....	33
Tabla 15. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS sin financiaciones.	34
Tabla 16. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones.	35
Tabla 17. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones.	35
Tabla 18. Resumen y conclusiones de los datos técnicos de la nueva instalación OPS.	36
Tabla 19. Reducción de emisiones asociada a la sustitución de los motores auxiliares por el sistema OPS.....	37
Tabla 20. Reducción de ruido asociado al nuevo sistema OPS.....	37
Tabla 21. Cálculos económicos y comparativa entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.	38
Tabla 22. Análisis de rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS en el Puerto de Málaga.	39
Tabla 23. Ecuación que relaciona la potencia y la eslora de los cruceros.	52
Tabla 24. Ecuación que relaciona la potencia y el GT de los cruceros.....	52
Tabla 25. Ecuación que relaciona la potencia y el número de pasajeros de un crucero.....	53

Tabla 26. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes.
Fuente: Poweratberth /12/..... 58

Tabla 27. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE..... 60

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.

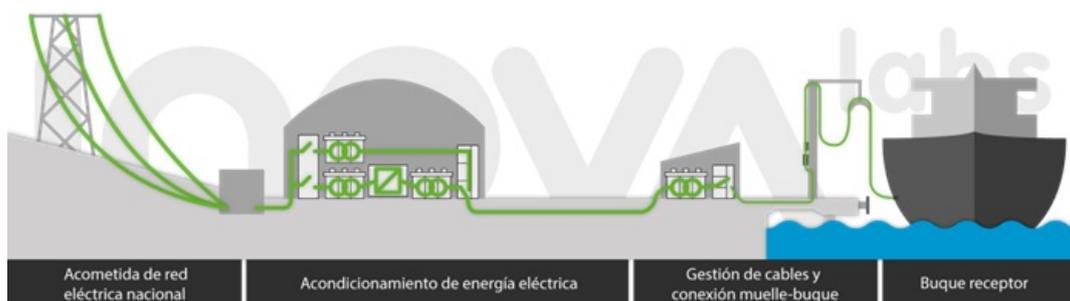


Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques.

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.

3.1. MUELLE OBJETIVO

En coordinación con la Autoridad Portuaria de Málaga se ha seleccionado como ubicación adecuada para la instalación del nuevo sistema OPS de suministro eléctrico a cruceros el muelle de atraque denominado “*Cruceros Norte*”, que se localiza en la parte norte del puerto.

En la Figura 3 se muestra un mapa del Puerto de Málaga, en el que se indica la zona de actuación definida.



Figura 3. Ubicación para el nuevo sistema OPS a cruceros en el Puerto de Málaga.

El muelle seleccionado “*Atraque Cruceros Norte*” dispone de pasarelas mecánicas para un acceso fácil y rápido de los cruceristas. Estas estructuras son móviles y se pueden desplazar en paralelo al buque a través de raíles. El carril de los raíles se encuentra aproximadamente a una distancia de 4m del muro de muelle. Por este motivo, hay que tener en cuenta que los equipos eléctricos para OPS y los sistemas de manejo de cables no deben obstruir la operación de las pasarelas de acceso. En la Figura 4 se puede observar la localización de estas pasarelas mecánicas.



Figura 4. Localización de las pasarelas mecánicas de acceso a cruceros en el Puerto de Málaga.

Por otro lado, en el muelle existen algunas zonas destinadas al amarre de los buques por lo que en estas zonas no podrían ser instalados los equipos necesarios para OPS. Otro factor a tener en cuenta es que las pasarelas mecánicas dejan una distancia aproximada de 4 metros libres hacia el buque, esto se debe a que algunos cruceros llevan botes de rescate en la 3ª y/o 4ª cubierta, y esto hace que el buque sea más ancho, por lo que hay que tener especial cuidado con la grúa para la manguera.

Finalmente, hay que mencionar que el muelle de atraque “*Cruceros Norte*” pertenece al puerto. Sin embargo, la estación marítima y las pasarelas mecánicas de acceso forman parte del concesionario Cruceros Málaga S.A.

Ver también el ANEXO 1 para consultar más detalles e información sobre la casuística específica de este muelle.

3.2. BUQUES OBJETIVO

De forma conjunta con la Autoridad Portuaria, se han identificado los buques de cruceros como idóneos para la conexión eléctrica en muelle.

El Puerto de Málaga ha recibido un total de 90 cruceros en el año 2017, los cuales han realizado 301 atraques y 4.135 horas anuales, con una estancia media en muelle de 13,7 horas.

Tal y como se ha descrito en el apartado anterior, el muelle objetivo para llevar a cabo la instalación del nuevo sistema OPS de conexión eléctrica a cruceros en el Puerto de Málaga es el muelle de atraque "*Cruceros Norte*", de tal manera que se han seleccionado únicamente aquellos cruceros que han realizado sus estancias en puerto en este punto de atraque.

En el muelle "*Cruceros Norte*" han atracado un total de 45 cruceros, los cuales han realizado 139 atraques y 1.663 horas anuales, con una estancia media en muelle de 12 horas.

Teniendo en cuenta los 45 cruceros seleccionados, hay que destacar que se tendrá en cuenta simultaneidad igual a 1, es decir, no se realizará la conexión de más de un buque a la vez. De esta manera, si se produce el atraque simultáneo de dos o más cruceros, se conectará a la red solamente aquel que tenga mayor potencia. Sin embargo, tras analizar cada uno de los atraques producidos en el muelle seleccionado, solamente se han detectado 2 atraques simultáneos durante un año, por lo que no estaría justificado planificar la instalación del nuevo sistema OPS con una simultaneidad mayor que uno.

La Figura 5 muestra el número de atraques y las horas de estancia anual de los 45 cruceros seleccionados en el muelle de *Cruceros Norte* del Puerto de Málaga.

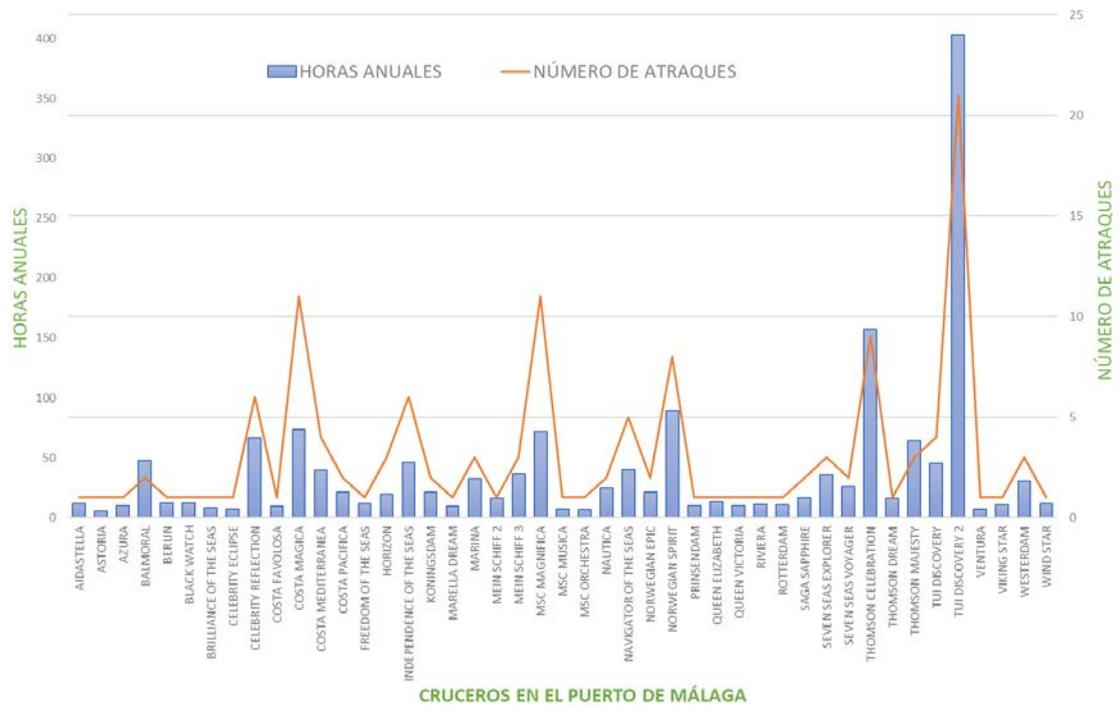


Figura 5. Número de atraques y horas anuales de estancia de los cruceros seleccionados en el Puerto de Málaga.

4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN OPS

Uno de los aspectos a tener en cuenta en el estudio técnico para la implementación 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 muelle de atraque “*Cruceros Norte*” del Puerto de Málaga, el punto más cercano para la acometida con potencia suficiente para abastecer a los cruceros planteados es el Centro de Transformación situado fuera de las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Málaga, concretamente en el centro de la ciudad de Málaga.

Para el suministro a cruceros es necesario instalar una línea subterránea de 66 kV que llega hasta la nueva localización del Centro de Transformación construido en la cercanía del muelle seleccionado y que alberga los equipos eléctricos necesarios para acondicionar la energía eléctrica, desde la tensión disponible en ese punto hasta los 11 kV a los que se va a llevar a cabo el suministro. En este caso, se propone la instalación del sistema de suministro de forma compacta en el interior de un habitáculo donde se alojarán los equipos eléctricos para llevar a cabo el suministro de electricidad, lo cual abarata significativamente los costes de inversión.

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 cruceros en el muelle de atraque “*Cruceros Norte*” del Puerto de Málaga es la que se plantea en la Figura 6.



Figura 6. Distribución de la red de suministro a cruceros en el Puerto de Málaga.

En el ANEXO 1 se especifican la configuración y el diseño de los componentes necesarios para llevar a cabo la instalación del sistema OPS de suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Málaga.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Para el cálculo de la demanda de energía eléctrica de los cruceros seleccionados se han tenido en cuenta los atraques durante el año 2017.

Para ello, cada uno de los 45 cruceros que realizaron un atraque en el muelle de *Cruceros Norte* a lo largo del año ha sido categorizado en función de los siguientes datos: **eslora**, **gross tonnage** y **número de pasajeros**.

En base a estos tres parámetros se han creado ecuaciones para estimar la potencia media de cada crucero. Para ello, se han empleado datos y recomendaciones de tres estudios anteriores¹, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones para el cálculo de la demanda media de cruceros.

ECUACIÓN	UNIDAD X
$131,76 + 26,889 \times X$	X = Eslora (m)
$591,48 + 3,118 \times X$	X = Pasajeros
$(9,55078 * GT^{0,7570}) * 0,16$	X = GT

En el ANEXO 2 se detalla al completo la metodología seguida para llevar a cabo el cálculo de la potencia media y pico en este estudio.

A partir de las ecuaciones mostradas en la Tabla 1, se han obtenido tres estimaciones de la demanda durante el atraque; una en función de la eslora, otra en función del número de pasajeros y la última de acuerdo al GT. El valor final para la demanda de potencia estimada por los cruceros es la media de estos tres valores.

La Figura 7 muestra la demanda estimada para cada crucero calculado de acuerdo a los tres estudios y la potencia media final.

¹ 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.

Starcrest Consulting Group, LLC (2017) White Bay Cruise Terminal Shore Power Analysis – Final Report prepared for the port authority of New South Wales.

Techne Consulting, SRL (2010) Emission estimate methodology for maritime navigation – Carlo Trozzi.

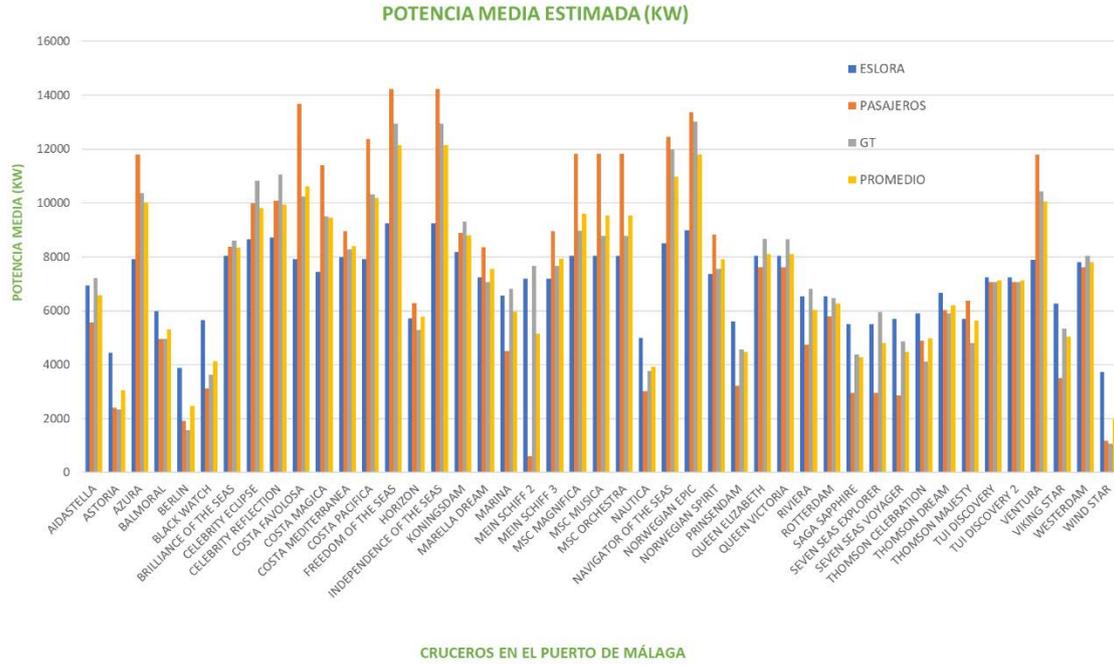


Figura 7. Potencia media estimada para los cruceros seleccionados en el Puerto de Málaga (Ver ANEXO 6).

La Figura 7 muestra la potencia media estimada para los 45 cruceros que no atracan simultáneamente en el muelle de *Cruceros Norte*. En el ANEXO 6 se reproduce esta figura a una escala mayor.

La combinación de datos exactos de entrada y salida y la estimación de la demanda media de cada uno de los cruceros en el muelle de *Cruceros Norte* permite la creación de un perfil de demanda a lo largo del año 2017. La Figura 8 muestra el perfil de la demanda con simultaneidad igual a 1 (sólo es posible la conexión de un crucero al mismo tiempo) a partir de 8.760 observaciones a lo largo del año 2017. En el ANEXO 6 se reproduce esta figura a una escala mayor.

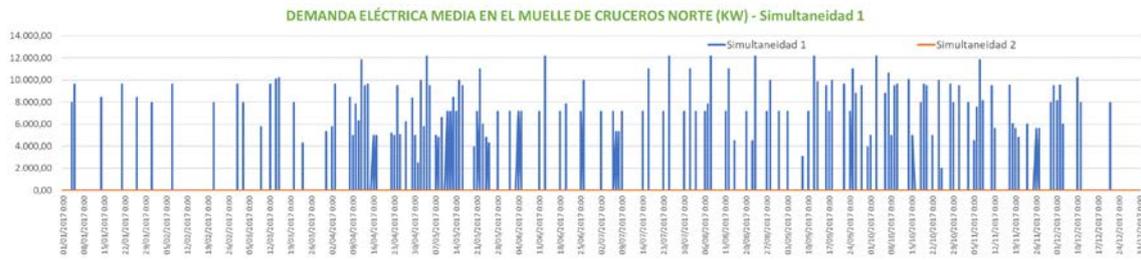


Figura 8. Demanda eléctrica media para cada hora del año 2017 en el muelle de cruceros Norte del Puerto de Málaga (Ver ANEXO 6).

4.2. SOLUCIÓN RECOMENDADA

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

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

A partir de los datos expuestos en la Figura 8, se ha obtenido un valor total de demanda energética (MWh) correspondiente al año 2017 de: **12.205 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 cruceros debe ser realizado a 6,6 o 11 kV. De esta manera, debido a las demandas de energía eléctrica elevadas de cruceros se recomienda el suministro a **11 kV**.

Por otro lado, la instalación debe ser capaz de suministrar a una frecuencia de **50 y 60 Hz**, ya que los cruceros seleccionados trabajan a diferentes frecuencias.

4.2.3. *Potencia instalada necesaria para la instalación eléctrica en muelle*

La potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle se ha obtenido como la potencia máxima que hayan presentado los cruceros en el Puerto de Málaga.

El buque de pasajeros en el muelle de atraque "*Cruceros Norte*" del Puerto de Málaga que ha presentado la potencia media máxima ha sido *Freedom of the Seas*, con un valor de potencia media de **12,138 MW** y una potencia pico máxima de **15,780 MW** (ver también sección 4.2.4).

De esta manera, podemos concluir que la potencia instalada mínima necesaria para la instalación del nuevo sistema de suministro eléctrico OPS a cruceros en el muelle de atraque "*Cruceros Norte*" del Puerto de Málaga es de **16 MW**.



BUQUE CON MAYOR POTENCIA MEDIA: **Freedom of the Seas**

POTENCIA MEDIA MÁXIMA (MW): **12,138 MW**

POTENCIA PICO MÁXIMA (MW): **15,780 MW**

GROSS TONNAGE (GT): **154.407**

ESLORA (m): **338,77**

PASAJEROS: **4.375**

4.2.4. Factor de picos de demanda

Para determinar un factor de picos de demanda para los cruceros del Puerto de Málaga, se ha trabajado en base al siguiente estudio: [Baldi et al. \(2015\) Energy and Exergy analysis of a cruise ship, in proceedings of ECOS 2015: 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of energy systems /9/](#), el cual ha modelado la carga de los motores auxiliares de cruceros en puerto.

De acuerdo con esas aportaciones y recomendaciones, se ha obtenido un valor para los picos de la demanda igual a **1,3**. Este factor hay que aplicarlo sobre la demanda media y representa hasta un **30% por encima de la media calculada**.

En el ANEXO 2 se explica la metodología empleada para el cálculo del factor de picos de la demanda.

4.2.5. Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en tierra/muelle

El muelle de atraque de cruceros seleccionado no dispone de un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los cruceros planteados, por lo que es necesario instalar un nuevo **Sistema de Interconexión**.

Consiste en un **Sistema de Interconexión Red de Media Tensión** con una tensión de 24 kV y 50 Hz de frecuencia del lado de tierra y del lado del buque a tensión normalizada 6,6 kV (ISO 80005) a 60 Hz de frecuencia, comprendiendo los siguientes elementos:

- Aparamenta Media Tensión del lado de Tierra, con una tensión máxima de 24 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). Instalación intemperie.
- 2 transformadores elevadores, Convertidor-Buque, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.
- Integración, física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones en media tensión y control básico.

Por otro lado, es necesario establecer la conexión entre el Sistema de Interconexión Red de Media Tensión y la unión con la grúa que permite el manejo de cables, tal y como se ve en la Figura 9.

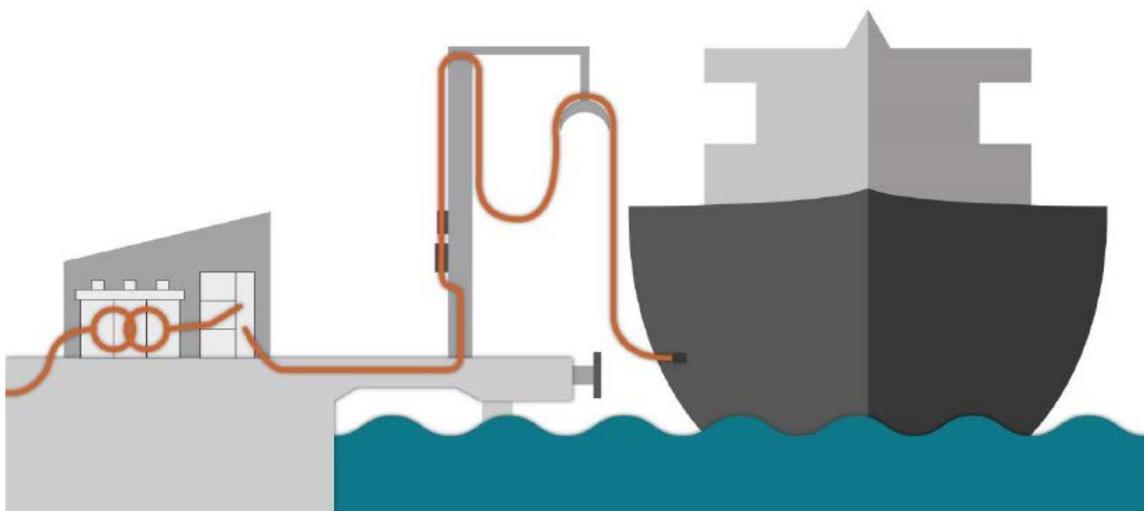


Figura 9. Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle.

Finalmente, en la Tabla 2 que vemos a continuación se resumen las soluciones recomendadas para la implementación del sistema OPS de conexión eléctrica a cruceros en el Puerto de Málaga.

Tabla 2. Resumen de las soluciones recomendadas para la implantación de OPS en la AP Málaga.

RESULTADOS Y SOLUCIÓN RECOMENDADA	
Ubicación de la instalación	Muelle atraque "Cruceros Norte"
Número de cruceros a conectarse al sistema OPS	45
Simultaneidad de conexión a OPS	1
Número de atraques anuales	139
Horas de atraque anuales/Tiempo total conectado a OPS (h/año)	1.662,55
Cantidad de MGO consumida actualmente en atraque sin OPS (Ton)	2.257,85
Total demanda eléctrica durante un año (MWh)	12.204,62
Perfil de potencia media y máxima (kW) durante la estancia en muelle	Ver Figura 8
Potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle (kW)	16
Voltaje de suministro para la instalación eléctrica en muelle (kV)	11
Frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle (Hz)	50/60

5. BENEFICIOS SOCIALES DERIVADOS DE LA IMPLANTACIÓN DE OPS

Las áreas urbanas 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 10).

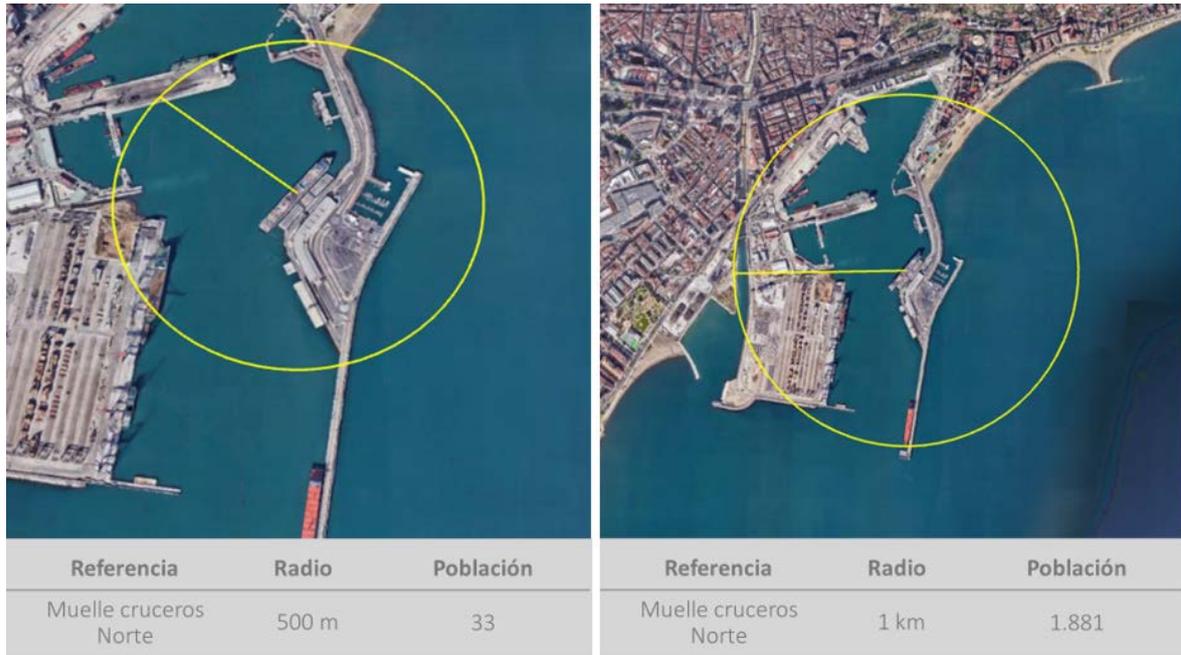


Figura 10. Rangos de afección según distancia en el Puerto de Málaga (Ver ANEXO 4)

En el ANEXO 4 se incluyen mapas adicionales con las diferentes distancias y rangos de afección tomando como punto de referencia el muelle de atraque *Cruceros Norte* del 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 el puerto, con la implantación del nuevo sistema OPS.

Teniendo en cuenta una demanda energética anual en el puerto de **12.205 MWh**, se obtiene la reducción de las emisiones generadas a partir de la implantación del sistema OPS. La Tabla 3 muestra la reducción de emisiones anual (CO₂, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) para los cruceros seleccionados.

Tabla 3. 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)	8.628,66	117,16	5,13	3,91	3,66
Sistema OPS (suministro eléctrico)	2.772,21	4,75	3,86	2,23	2,23
% Reducción de emisiones	-67,9%	-95,9%	-24,8%	-43,0%	-39,1%

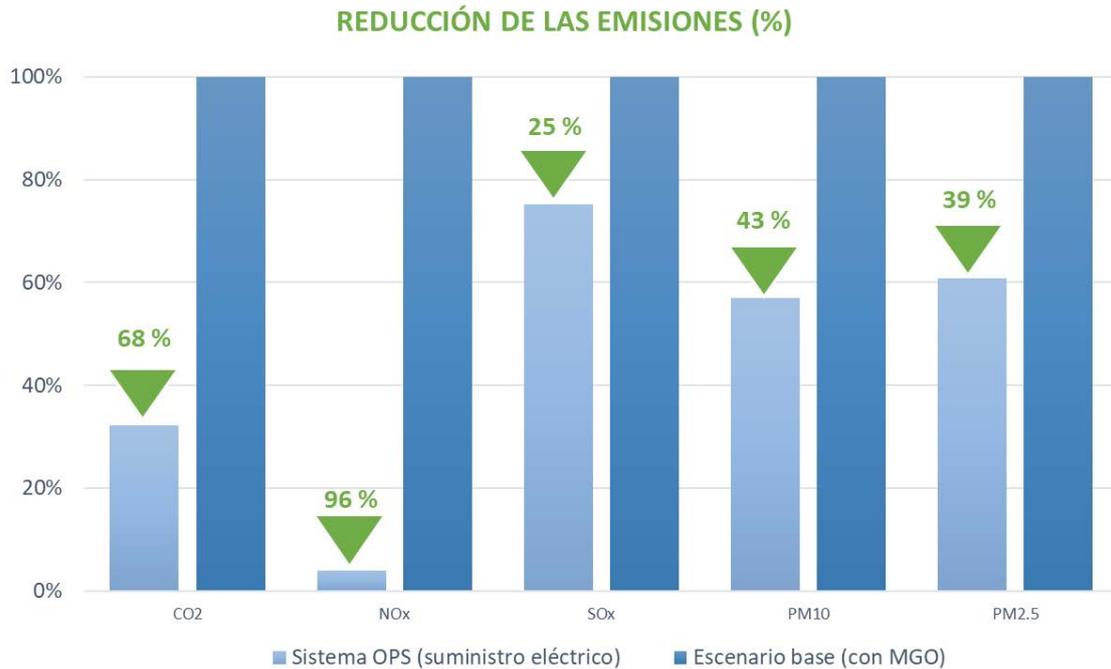


Figura 11. Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS.

Por otro lado, en la Figura 11 podemos observar la reducción de las emisiones que supondría la instalación de suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Málaga, sustituyendo el actual sistema compuesto por los motores auxiliares alimentados por combustibles marinos.

En el ANEXO 5 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 cruceros 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 /10/*.

En dicho proyecto se han analizado las potencias acústicas obtenidas de los cruceros, de tal manera que han identificado una posible relación entre los niveles de ruido y el tamaño del barco, y una relación inversa con la antigüedad. Se dividieron los barcos por su capacidad: tamaño medio (10.000 – 59.000 toneladas) y tamaño grande (> 100.000 Tn.)

En las mediciones acústicas realizadas en el estudio se han identificado dos focos de ruido diferenciados, la ventilación asociada a los cruceros y el ruido del motor auxiliar y 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 otras actividades de los cruceros.

En la Tabla 4 se muestran los beneficios acústicos estimados del Cold Ironing, en diferencia de los niveles globales de cada tipología de crucero.

Tabla 4. Mediciones de potencia sonora para los cruceros.

	Año de construcción:	Niveles Potencia Sonora L _{WA} dBA		
		Situación Actual	OPS-Cold Ironing	Diferencia (reducción Sonora)
Cruceros gt 10.000-99.000	< 1980	112	103	8,6
	1981< X < 2005	105	95	9,9
	> 2005	103	98	5,5
Cruceros gt 100.000+	< 2005	106	99	7,4
	> 2005	106	96	9,3

En la Figura 12 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 Cold Ironing o no. Finalmente, esta ficha representa la emisión acústica del conjunto del buque en ambos escenarios.

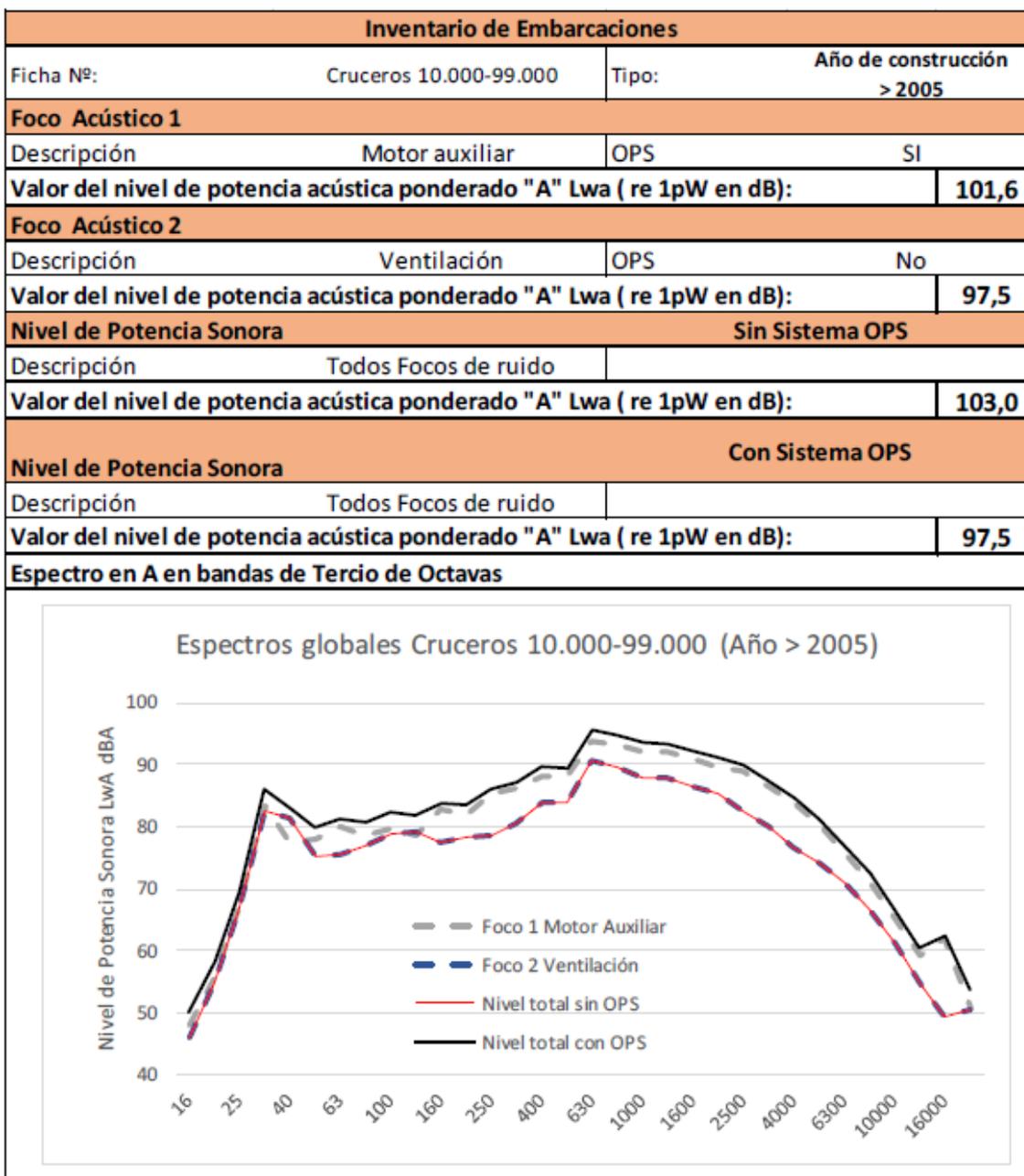


Figura 12. Ficha descriptiva de una de las mediciones realizadas a una tipología de crucero.

De esta manera, se estima que el beneficio acústico derivado de la implementación del nuevo sistema de conexión eléctrica a cruceros en el Puerto de Málaga es la 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; ya que viene directamente relacionado con las actividades que puedan desarrollar en el momento del atraque y el número de pasajeros que se encuentren a bordo.

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 combustible marino y el nuevo sistema OPS de conexión eléctrica a cruceros en el Puerto de Málaga. En la Tabla 5 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 5. Comparativa económica entre el sistema actual con MGO y el nuevo sistema OPS.

	OPS		MGO	
INVERSIÓN EN MUELLE	-6.201.966	€	0,00	€
<i>Ampliación de la red eléctrica</i>	<i>-2.600.000</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
<i>Inversión en los equipos eléctricos</i>	<i>-3.601.966</i>	<i>€</i>	<i>0,00</i>	<i>€</i>
INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	-4.000.000	€	0,00	€
GASTOS ANUALES	1.755.891	€/año	1.596.579	€/año
<i>Gasto anual de energía</i>	<i>1.658.851</i>	<i>€/año</i>	<i>1.237.467,74</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>72.039</i>	<i>€/año</i>	<i>359.110,80</i>	<i>€/año</i>

A continuación, se desglosa cada uno de los cálculos económicos indicados en la Tabla 5.

6.1. INVERSIÓN

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

- La inversión en muelle en la que se incluye la ampliación de la red y los equipos eléctricos necesarios para el acondicionamiento de la energía eléctrica proveniente de la red eléctrica nacional.
- La inversión en el sistema de manejo de cables que va a permitir llevar las conexiones al punto de contacto en el interior de los buques.

En la Tabla 6 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 6. Comparativa de la inversión en muelle entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.

	OPS		MGO	
INVERSIÓN EN EL MUELLE	-6.201.966	€	0,00	€
Ampliación de la red eléctrica	-2.600.000	€	0,00	€
Inversión en los equipos eléctricos	-3.601.966	€	0,00	€
INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	-4.000.000	€	0,00	€

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

6.1.1. Coste de la inversión en muelle

La inversión que sería necesario realizar en el muelle seleccionado en el Puerto de Málaga incluye la ampliación de la red eléctrica desde la subestación situada a las afueras de las instalaciones de la Autoridad Portuaria hasta el nuevo Centro de Transformación localizado en la cercanía del punto de atraque. En la Figura 13 se ha representado el trayecto estimado de la línea eléctrica de 2 x 66 kV.



Figura 13. Plano de la acometida a la red eléctrica de 66 kV.

Por otro lado, sería necesario incluir un Sistema de Interconexión, como el descrito en el apartado *Equipos eléctricos necesarios para la instalación eléctrica en tierra/muelle*, capaz de acondicionar la energía eléctrica proveniente de la red nacional a la potencia que los cruceros necesitan.

En el coste de la inversión en muelle también se ha incluido el presupuesto de la conexión desde el sistema de interconexión Red de Media Tensión hasta el buque, en el que se ha tenido en cuenta una distancia de 30 metros hasta el punto de contacto en muelle, según la configuración de la instalación ya vista en la Figura 6.

Tabla 7. Coste de la inversión en muelle para implantación de OPS a cruceros en el Puerto de Málaga.

INVERSIÓN EN EL MUELLE		
AMPLIACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA		2.600.000 €
Canalización D/C 66 kV Zona Oeste puerto - Terminal Marítima (3.300 m)		1.400.000 €
Línea subterránea D/C SET Centro - SET Puerto (4.700 m)		1.200.000 €
INVERSIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS		3.601.966 €
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN 66/20 kV 20 MVA		
Aparamenta media tensión lado tierra, tensión máxima 24 kV y 50 Hz		3.265.000 €
Aparamenta media tensión lado buque, tensión máxima 12 kV y 60 Hz		
2 convertidores de frecuencia electrónicos, 50/60 Hz, 10 MVA potencia máxima unitaria. Integrados en 2 containers incluyendo sistema de refrigeración.		
2 transformadores reductores, Tierra-convertidor, 10 MVA potencia unitaria, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.		
2 transformadores elevadores, Convertidor-buque 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación intemperie.		
Integración física/eléctrica de la aparamenta de media tensión y el control asociado.		
Sistema de protecciones en media tensión y control básico.		
CONEXIÓN CT/BUQUE *		
	Precio/unidad	Precio
Arqueta prefabricada de hormigón	5 uds.	5.333 €
30 metros de canalización A.T. 50/60 Hz	110,54 €/m	3.316 €
30 metros de cable A.T. 12/20 kV, 1x240 mm ²	15,11 €/m	453 €
30 metros de cable A.T. 6/10 kV, 1x150 mm ²	13,75 €/m	413 €
TRABAJOS DE OBRA CIVIL (10%) **		327.451 €

* Se ha calculado una distancia de 30 m 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 han sido 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 necesario para el suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Málaga es del tipo que se puede ver en la Figura 14.



Figura 14. Grúa de manipulación de manguera eléctrica para el suministro OPS.

Tabla 8. Inversión estimada para el sistema de manejo de cables.

INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	4.000.000 €
--	--------------------

El presupuesto estimado para este sistema de manejo de cables es de 4.000.000 €. Este valor ha sido estimado por parte de un fabricante y el resultado final es elevado debido a las consideraciones que hay que tener en cuenta. En el ANEXO 1 se especifica la problemática del sistema de manejo de cables para este caso, que es debido a la casuística específica referente a la estructura del muelle.

6.2. GASTO OPERACIONAL

Los gastos estimados para la instalación OPS de suministro de electricidad a cruceros en el Puerto de Málaga se desglosan en: suministro de energía eléctrica y gastos anuales de operación y mantenimiento.

En la Tabla 9 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 combustible marino.

Tabla 9. Comparativa de los gastos anuales entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.

	OPS		MGO	
GASTOS ANUALES	1.755.891	€/año	1.596.579	€/año
<i>Gasto anual de energía</i>	1.658.851,33	€/año	1.237.467,74	€/año
<i>Gasto anual de operación</i>	25.000,00	€/año	0,00	€/año
<i>Gasto anual de mantenimiento</i>	72.039,32	€/año	359.110,80	€/año

A continuación, se describen todos los gastos estimados en la Tabla 9.

6.2.1. Gasto anual de suministro de energía

Teniendo en cuenta un consumo anual igual a **12.204,62 MWh**, se ha obtenido el importe del suministro eléctrico estimado para la instalación OPS a cruceros en el Puerto de Málaga. El valor del precio eléctrico medio sin IVA es igual a **0,1359 €/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 /11/.

Tabla 10. Gasto anual de suministro eléctrico a cruceros en el Puerto de Málaga.

POTENCIA MEDIA TARIFA 6.2	
<i>Facturación anual sin IVA</i>	1.370.941,09 €
<i>Impuesto sobre el valor añadido</i>	287.897,63 €
<i>Importe facturación anual</i>	1.658.851,33 €

Consumo (kWh)	12.204.615,42
----------------------	----------------------

<i>Precio eléctrico medio sin IVA</i>	0,13592
---------------------------------------	---------

El gasto anual de suministro de energía eléctrica con el nuevo sistema OPS es de **1.658.851 €**. Este se ha comparado con el gasto anual asociado al suministro de MGO, obteniendo un valor de **1.237.468 €**. De esta manera, se puede concluir que el nuevo gasto asociado al sistema OPS es **420.000 €** superior al actual.

6.2.2. Gasto anual para personal de operación

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

6.2.3. Gasto anual de mantenimiento

En cuanto al gasto correspondiente al mantenimiento se va a calcular como el 2% del gasto anual de la inversión que se pretende realizar en los equipos eléctricos. De esta manera, se estima un gasto anual de **72.040 €**.

Por otro lado, hay que destacar que con el nuevo sistema OPS se elimina el gasto correspondiente al desgaste de los motores auxiliares. Este gasto sí ha sido estimado para el caso actual con MGO y se ha calculado a partir de la herramienta "[OPS calculation tool](#)" de WPCI (World Port Climate Initiative). En la Tabla 11 se muestra un resumen de esta estimación.

Tabla 11. Gasto anual de mantenimiento para los motores auxiliares en el sistema actual.

DESGASTE DE MOTORES AUXILIARES	359.111	€/año
Número de buques en operación	45,00	uds.
Número de motores auxiliares por buque	3,00	uds.
Gasto por motor y hora	1,60	€/motor/hora
Horas anuales de atraque	1.662,55	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 CO₂, SO_x, NO_x y partículas (PM) 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 CO₂, SO_x, NO_x y partículas (PM). De esta manera, se ha establecido una comparativa entre las emisiones producidas por los motores auxiliares de los buques

alimentados por MGO y el nuevo sistema OPS basado en el suministro de electricidad a los buques atracados en puerto. En la Tabla 12 se muestran los valores obtenidos para cada caso.

Tabla 12. Monetización de las emisiones contaminantes del sistema actual y del nuevo sistema OPS.

	OPS		MGO	
EMISIONES CONTAMINANTES - Cuantificación	2.776,96	Tons/año	8.745,82	Tons/año
CO2	2.772,21	Tons/año	8.628,66	Tons/año
NOx	4,75	Tons/año	117,16	Tons/año
SOx	3,86	Tons/año	5,13	Tons/año
PM10	2,23	Tons/año	3,91	Tons/año
PM2.5	2,23	Tons/año	3,66	Tons/año

COSTE DE LAS EMISIONES					
*	CO2	10	€/Ton	10	€/Ton
*	NOx	1.000	€/Ton	1.000	€/Ton
*	SOx	5.600	€/Ton	5.600	€/Ton
*	PM10	26.000	€/Ton	26.000	€/Ton
*	PM2.5	26.000	€/Ton	26.000	€/Ton

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

EMISIONES CONTAMINANTES - Monetización	32.472,10	€/año	203.446,60	€/año
CO2	27.722,10	€/año	86.286,60	€/año
NOx	4.750,00	€/año	117.160,00	€/año
SOx	21.616,00	€/año	28.728,00	€/año
PM10	57.980,00	€/año	101.660,00	€/año
PM2.5	57.980,00	€/año	95.160,00	€/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**² que grava la estancia de los buques en puerto y que se otorga a aquellos buques que realicen el

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

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

Tabla 13. Bonificación de la tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS.

	OPS		MGO	
BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1	757.122	€/año	1.514.244	€/año
% Bonificación de la tasa T-1 de los buques	50,00	%	0,00	%
Costes de atraque	757.122,02	€/año	1.514.244,03	€/año

Finalmente, en la Tabla 14 se muestra la comparativa económica entre el sistema actual alimentado por MGO y el nuevo sistema OPS, incluyendo los nuevos factores económicos, tales como la monetización de las emisiones y la bonificación del 50% de la tasa T-1.

Tabla 14. Comparativa económica con la monetización de las emisiones y la bonificación de la tasa T-1.

	OPS		MGO	
INVERSIÓN EN MUELLE	-6.201.966	€	0,00	€
Ampliación de la red eléctrica	-2.600.000	€	0,00	€
Inversión en los equipos eléctricos	-3.601.966	€	0,00	€
INVERSIÓN SISTEMA DE MANEJO DE CABLES	-4.000.000	€	0,00	€
GASTOS ANUALES	1.755.891	€/año	1.596.579	€/año
Gasto anual de energía	1.658.851	€/año	1.237.467,74	€/año
Gasto anual de operación	25.000	€/año	0,00	€/año
Gasto anual de mantenimiento	72.039	€/año	359.110,80	€/año
MONETIZACIÓN DE LAS EMISIONES	112.068	€/año	333.835	€/año
CO2	27.722	€/año	86.287	€/año
NOx	4.750	€/año	117.160	€/año
SOx	21.616	€/año	28.728	€/año
PM10	57.980	€/año	101.660	€/año
PM2.5	57.980	€/año	95.160	€/año
BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1	757.122	€/año	1.514.244	€/año
% Bonificación de la tasa T-1 de los buques	50,00	%	0,00	%
Costes de atraque	757.122,02	€/año	1.514.244,03	€/año

6.4. ESTUDIO DE RENTABILIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En el estudio de rentabilidad se va a analizar 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 15. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS sin financiaciones.

PERIODO	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-10.201.966,12	-10.201.966
1	-159.312,11	-10.361.278
2	-159.312,11	-10.520.590
3	-159.312,11	-10.679.902
4	-159.312,11	-10.839.215
5	-159.312,11	-10.998.527
6	-159.312,11	-11.157.839
7	-159.312,11	-11.317.151
8	-159.312,11	-11.476.463
9	-159.312,11	-11.635.775
10	-159.312,11	-11.795.087
11	-159.312,11	-11.954.399
12	-159.312,11	-12.113.711
13	-159.312,11	-12.273.024
14	-159.312,11	-12.432.336
15	-159.312,11	-12.591.648

En la Tabla 15 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, 420.000 € superior al sistema actual alimentado por MGO.

Finalmente, se puede concluir que la instalación del sistema OPS a cruceros 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.

Tabla 16. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones.

PERIODO	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
0	-10.201.966,12	-10.201.966
1	768.784,40	-9.433.182
2	768.784,40	-8.664.397
3	768.784,40	-7.895.613
4	768.784,40	-7.126.829
5	768.784,40	-6.358.044
6	768.784,40	-5.589.260
7	768.784,40	-4.820.475
8	768.784,40	-4.051.691
9	768.784,40	-3.282.907
10	768.784,40	-2.514.122
11	768.784,40	-1.745.338
12	768.784,40	-976.553
13	768.784,40	-207.769
14	768.784,40	561.015
15	768.784,40	1.329.800

Tabla 17. Rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS con financiaciones.

VAN	-2.222.247
TIR	2%
PERIODO DE RETORNO	13,27

En la Tabla 16 se muestran los valores obtenidos para la rentabilidad del sistema OPS a cruceros 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 ha obtenido un valor del flujo anual de caja positivo, sin embargo, la rentabilidad del nuevo sistema OPS es muy baja, con un TIR (a 15 años) del 2%.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio de viabilidad para la implantación del nuevo sistema OPS de conexión eléctrica a cruceros 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 18 se muestran un resumen de los **datos técnicos** necesarios para la implantación del nuevo sistema de conexión eléctrica a **cruceros en atraque en el Puerto de Málaga**.

Tabla 18. Resumen y conclusiones de los datos técnicos de la nueva instalación OPS.

DATOS TÉCNICOS DE LA INSTALACIÓN OPS	
Ubicación del sistema OPS	Muelle atraque "Cruceros Norte"
Número de cruceros a conectarse al sistema OPS	45
Simultaneidad de conexión a OPS	1
Número de atraques anuales	139
Horas de atraque anuales/Tiempo total conectado a OPS (h/año)	1.662,55
Cantidad de MGO consumida actualmente en atraque sin OPS (Ton)	2.257,85
Demanda de energía eléctrica total durante un año (MWh)	12.204,62
Perfil de potencia media y máxima (kW) durante la estancia en muelle	Ver Figura 8
Potencia necesaria para la instalación eléctrica en muelle (kW)	16
Voltaje de suministro para la instalación eléctrica en muelle (kV)	11
Frecuencia de suministro para la instalación eléctrica en muelle (Hz)	50/60

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 cruceros en el Puerto de Málaga, tal y como podemos observar en la Tabla 19 y Tabla 20.

Tabla 19. 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)	8.628,66	117,16	5,13	3,91	3,66
Sistema OPS (suministro eléctrico)	2.772,21	4,75	3,86	2,23	2,23
% Reducción de emisiones	-67,9%	-95,9%	-24,8%	-43,0%	-39,1%

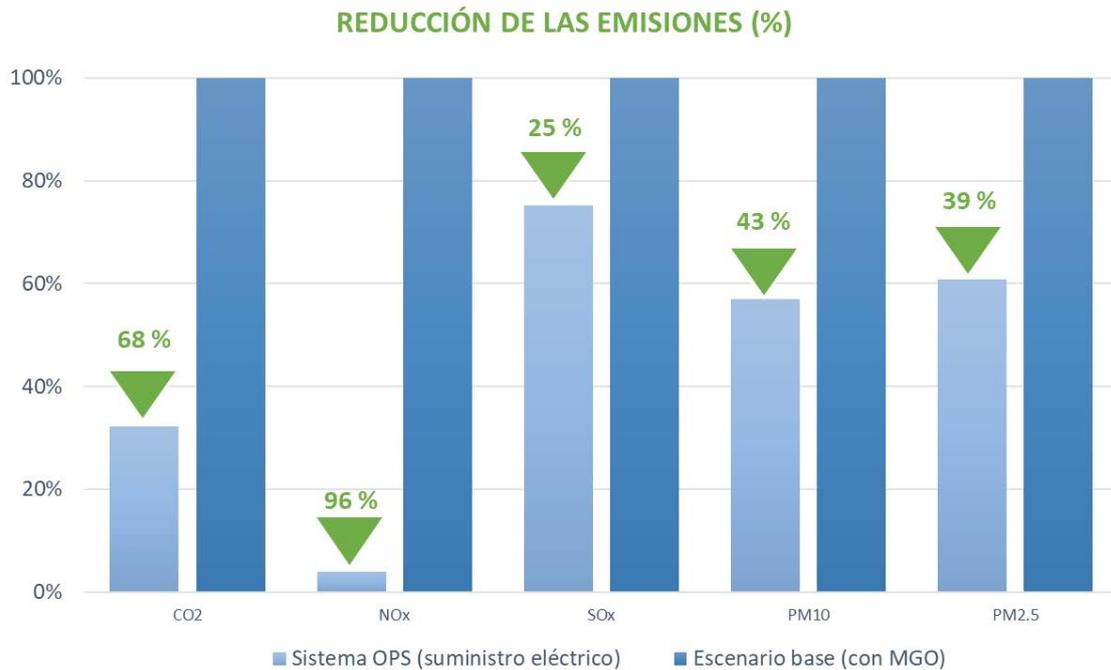


Figura 15. Porcentaje de reducción de las emisiones gracias a la instalación del nuevo sistema OPS.

Tabla 20. Reducción de ruido asociado al nuevo sistema OPS.

BENEFICIOS SOCIALES
REDUCCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO
Eliminación del ruido asociado a la desactivación de los motores auxiliares, lo cual equivale a 6-10 dB de reducción.

Por último, en la Tabla 21 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 21. Cálculos económicos y comparativa entre el sistema actual y el nuevo sistema OPS.

CÁLCULOS ECONÓMICOS		
INVERSIÓN		
	<i>MGO</i>	0 €
	<i>SISTEMA OPS</i>	-10.201.966 €
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	10.201.966 €
GASTO OPERACIONAL		
	<i>MGO</i>	1.596.579 €
	<i>SISTEMA OPS</i>	1.755.891 €
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	-159.312 €
MONETIZACIÓN DE LAS EMISIONES		
	<i>MGO</i>	203.447 €
	<i>SISTEMA OPS</i>	32.472 €
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	170.975 €
BONIFICACIÓN DE LA TASA T-1		
	<i>MGO</i>	1.514.244 €
	<i>SISTEMA OPS</i>	757.122 €
	<i>DIFERENCIAL OPS-MGO</i>	757.122 €

Los resultados obtenidos de este análisis económico para la nueva instalación del sistema OPS en el Puerto de Málaga son: sería necesario realizar una inversión inicial de diez millones y el gasto operacional resultaría 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.

Por otro lado, en la Tabla 22 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. Los valores obtenidos se han calculado con un periodo de 15 años y una tasa de descuento del 5%.

Tabla 22. Análisis de rentabilidad asociada al nuevo sistema OPS en el Puerto de Málaga.

RENTABILIDAD		
Sin financiación		
	<i>VAN</i>	-11.855.571 €
	<i>TIR</i>	-
	<i>PERIODO DE RETORNO</i>	-
Con financiación		
	<i>VAN</i>	-2.222.247 €
	<i>TIR</i>	2%
	<i>PERIODO DE RETORNO</i>	13,27

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] *Starcrest Consulting Group, LLC (2017). White Bay Cruise Terminal Shore Power Analysis – Final Report prepared for the port authority of New South Wales.*
- [8] *Techne Consulting, SRL (2010) Emission estimate methodology for maritime navigation – Carlo Trozzi.*
- [9] *Baldi et al. (2015) Energy and Exergy of a cruise vessel, in proceedings of ECOS 2015: 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of energy systems.*
- [10] *TECNALIA Research and Innovation. (2018). Evaluación del beneficio acústico del sistema Cold Ironing en Puertos. Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia.*
- [11] *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.*
- [12] *OPS Master Plan for Spanish Ports. Evaluación del impacto ambiental causado por las emisiones procedentes de los buques en atraque. [Poweratberth](#).*

ANEXO 1. 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 16.

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

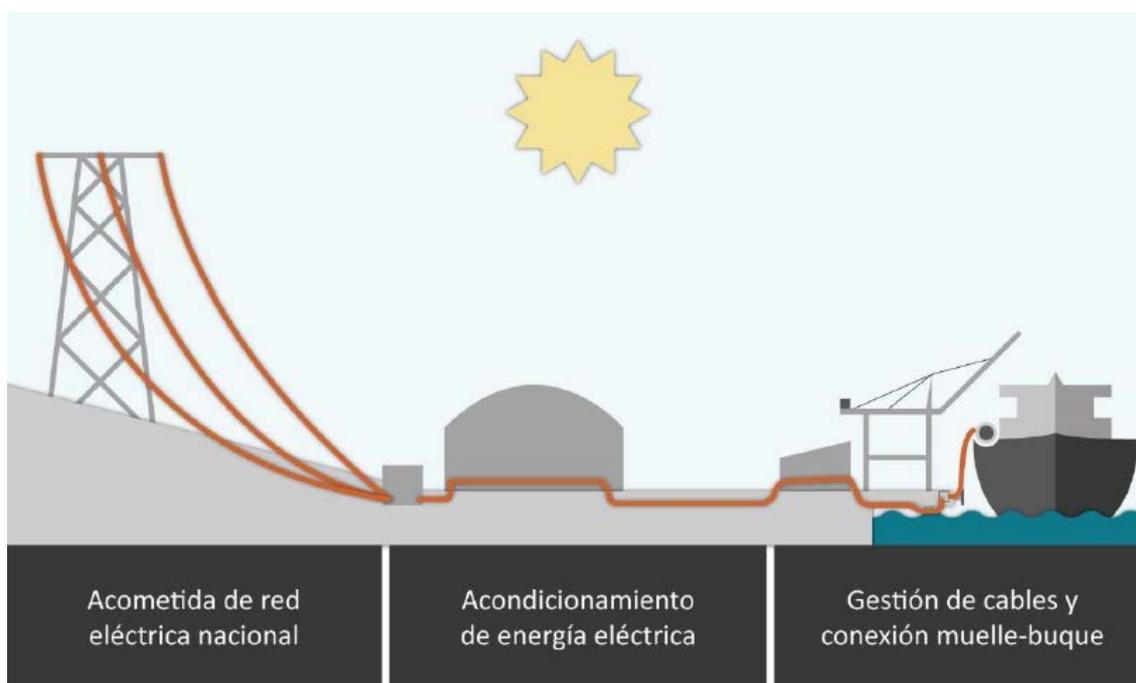


Figura 16. Componentes principales de una instalación OPS en puerto.

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 potencia necesaria.



Figura 17. Localización de las subestaciones en la cercanía del Puerto de Málaga. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.

En la Figura 17 se muestra la localización de las subestaciones en la cercanía del Puerto de Málaga, de tal manera que todas ellas se encuentran alojadas fuera de las instalaciones de la Autoridad Portuaria y con una tensión disponible de 66 kV. Por este motivo, sería necesario realizar una ampliación de la red eléctrica hasta el nuevo centro de transformación que se instalará en la cercanía del muelle de atraque *Cruceros Norte*. En la Figura 18 se muestra un plano de la acometida que se debe llevar a cabo para disponer de potencia suficiente en el muelle planteado.



Figura 18. Plano de la acometida a la red eléctrica a 66 kV.

Tal y como se indica en la Figura 18, la acometida a la red eléctrica planteada tiene una longitud total de 4,7 km y está dividida en dos partes: una primera parte que cuenta con un trayecto de 1,4 km parcialmente instalado y la segunda se trata de un trayecto nuevo de 3,3 km.

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 combustible marino 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. 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 u 11 kV.

Como ya hemos visto anteriormente, en el punto de atraque seleccionado en este estudio no hay disponibilidad de una subestación cercana al muelle con capacidad para suministrar la energía eléctrica necesaria a los buques, por lo que es necesario trasladar esta energía desde la subestación descrita en el apartado anterior hasta el muelle y transformar dicha energía eléctrica 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 energía eléctrica tiene las medidas y características que se muestran en la Figura 19.

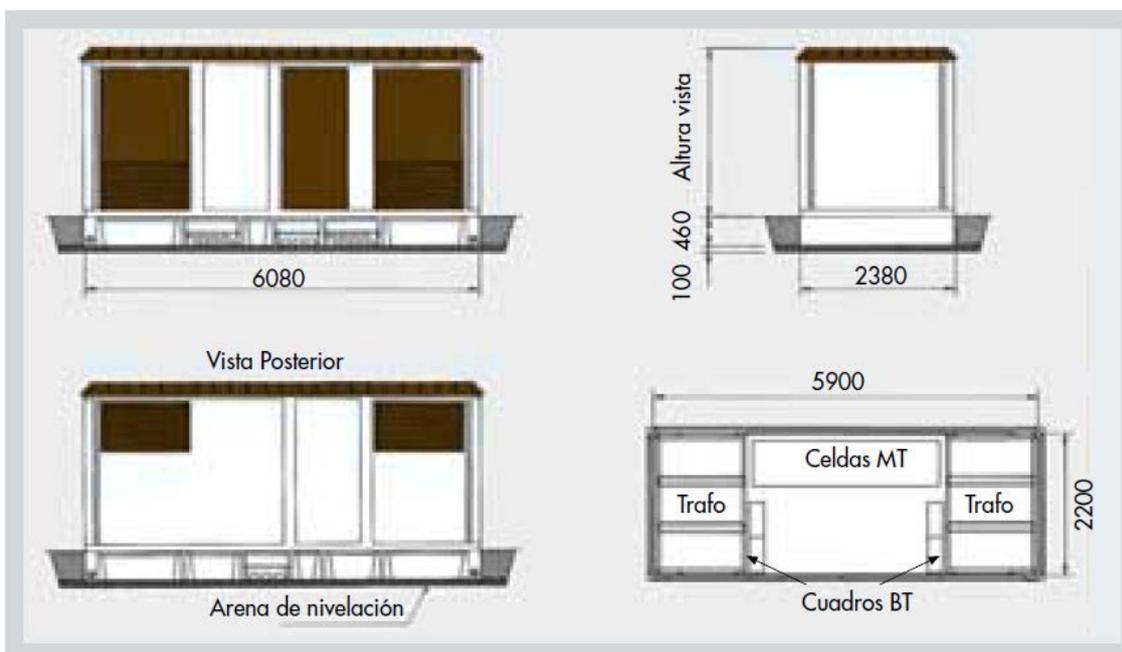


Figura 19. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para un sistema OPS. Fuente: Ormazabal.

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

Los cruceros seleccionados en el estudio trabajan a diferentes frecuencias (50 y 60 Hz). De esta manera, la instalación eléctrica ha sido dimensionada para que todos los cruceros puedan ser conectados sin ningún problema a la red eléctrica, por lo que se ha incluido en la configuración de los equipos eléctricos, convertidores de frecuencia electrónicos 50/60 Hz.

Finalmente, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas anteriormente, es necesario instalar un Sistema de Interconexión Red de Media Tensión 24 kV/50 Hz del lado tierra hasta la tensión normalizada 11 kV y 60 Hz del lado buque 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 50 Hz.
- Aparata Media Tensión del lado del buque, con una tensión máxima de 12 kV y frecuencia 60 Hz.
- 2 convertidores de frecuencia electrónicos 50/60 Hz, con potencia máxima unitaria de 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). Instalación en intemperie.
- 2 transformadores elevadores, Convertidor-Buque, con potencia unitaria de 10 MVA, dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Instalación en intemperie.
- Integración física/eléctrica de la aparata de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones en media tensión y control básico.

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

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

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

La opción seleccionada en este estudio de conexión eléctrica a cruceros 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 de suministro de energía eléctrica a los cruceros del Puerto de Málaga es un sistema complejo debido a los problemas que han surgido en la fase del diseño de esta grúa, los cuales se describen a continuación:

- A. Uno de los problemas que han surgido está relacionado con la dimensión de los cruceros en comparación con la del muelle de atraque. Tal y como podemos observar en la Figura 20, el crucero que se encuentra atracado tiene una medida de eslora superior a la longitud del muelle. Esta situación supone un problema a la hora de dimensionar la grúa de manejo de cables. Distintos buques crucero pueden tener el punto de conexión en el extremo (proa o popa). Además, los cruceros suelen tener portales de acceso, por ejemplo para (des)carga de suministros, en los extremos. Estos portales tienen que ser accesibles desde el muelle, limitando las posibilidades de ajustar la posición de atraque del crucero.

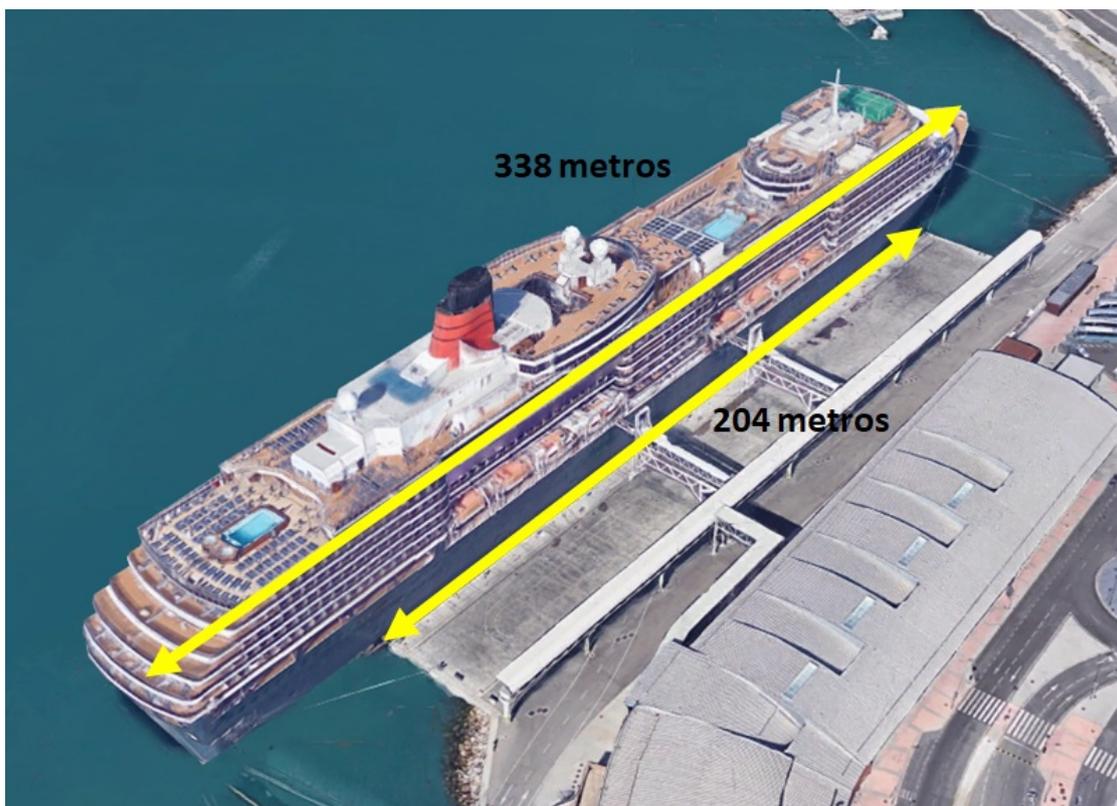


Figura 20. Medidas del muelle de cruceros en el Puerto de Málaga.

- B. Otro problema que supone una dificultad en el diseño de la grúa de manejo de cables son las pasarelas mecánicas de acceso de los pasajeros al crucero. Estas pasarelas se encuentran a una distancia de 4 metros al crucero y no deben ser obstruidas por este sistema.
- C. En un principio, se había diseñado el sistema de manejo de cables OPS para que los cables pasaran de manera subterránea por un carril disponible en el muelle. Sin embargo, finalmente se ha concluido que no hay disponibilidad de espacio en este carril ya que en su interior hay otro tipo de cables subterráneos. El uso de estos carriles subterráneos para los cables eléctricos OPS no es posible. En la Figura 21 se muestra la sección del muelle de atraque *Cruceros Norte* en la que se puede observar las características y complejidades que presenta.

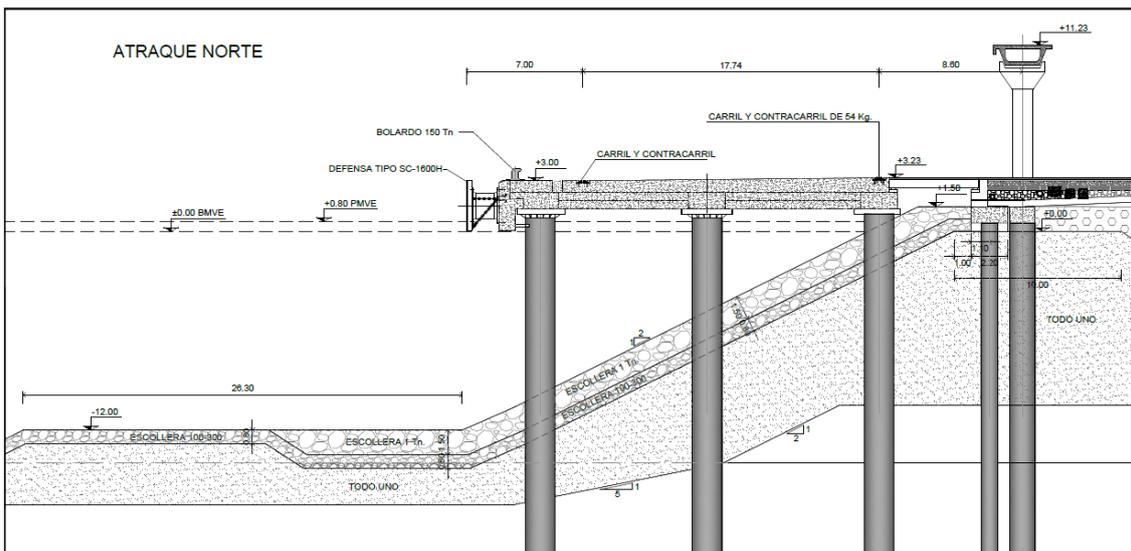


Figura 21. Sección del muelle de atraque "Cruceros Norte" del Puerto de Málaga.

Como consecuencia de la estructura del muelle, no será posible crear carriles subterráneos nuevos para los nuevos cables eléctricos, y tampoco se puede usar los carriles subterráneos existentes. La estructura del muelle (ver Figura 21), no permite la creación de nuevos carriles subterráneos por razones de estabilidad estructural del muelle. La única manera de llevar los cables eléctricos hasta la grúa de conexión sería por encima de la superficie del muelle.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de grúas para el manejo de cables que no estaría permitido instalar en el muelle de cruceros del Puerto de Málaga.



Figura 22. Sistema de manejo de cables en el Puerto de Hamburgo. Fuente: Stemman-Technik.

Debido a la complejidad estructural del muelle de atraque *Cruceros Norte* tampoco sería posible llevar a cabo ningún tipo de nueva instalación para albergar los cables de la grúa. Tal y como podemos observar en la Figura 21 se trata de un muelle soportado por pilares 3 pilares principales, por lo que realizar un nuevo trabajo sobre él podría poner en peligro su estructura. No es posible crear un carril de cables como en la figura 22 o 23.



Figura 23. Sistema de manejo de cables en el Puerto de Los Ángeles. Fuente: Cavotec.

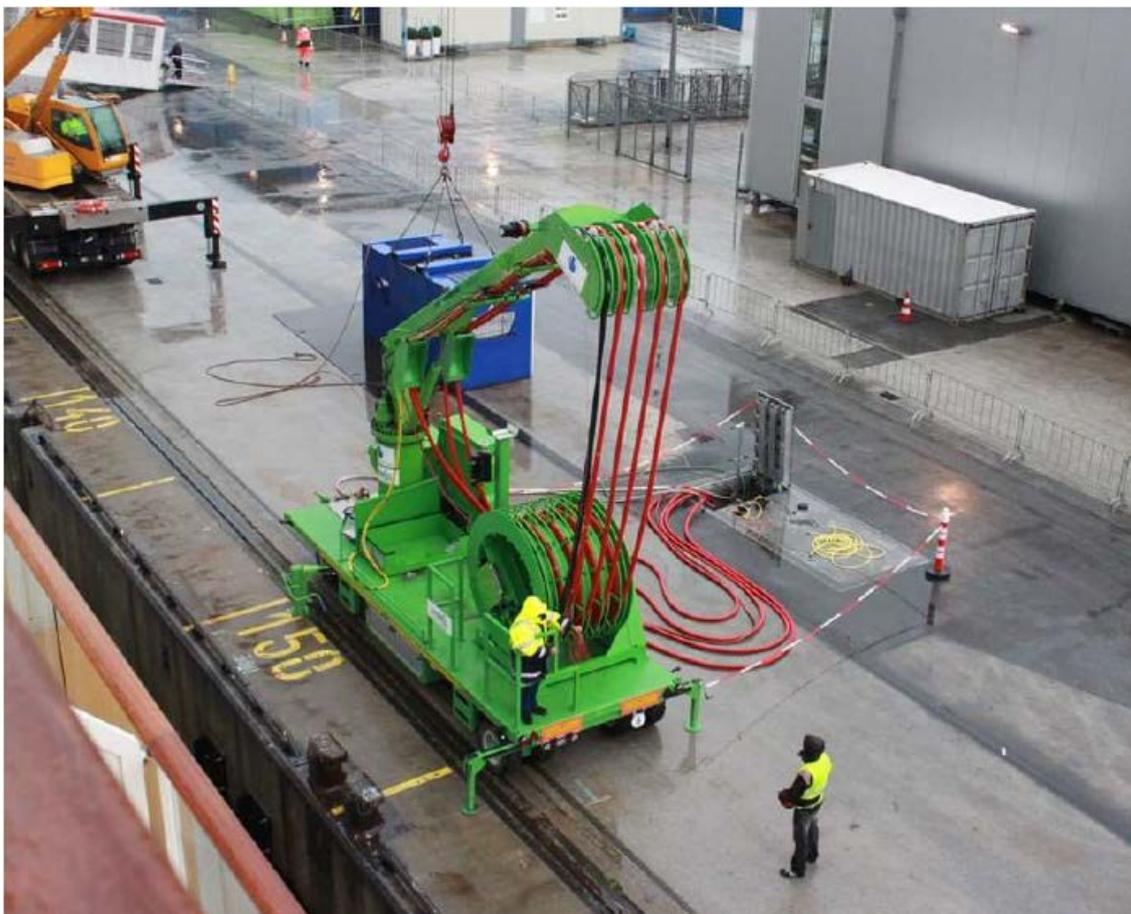


Figura 24. Sistema de manejo de cables en el Puerto de Hamburgo. Fuente: Cavotec.

En la Figura 24 se muestra un último ejemplo de sistema de manejo de cables. La grúa consiste en un carro verde de grúa. Este sistema podría ser una solución viable para el caso de cruceros en Málaga. De esa manera, los contactos subterráneos tendrían que ser ubicados a una distancia mayor del buque según el perfil estructural del muelle de atraque *Cruceros Norte* que podemos ver en la Figura 21.

Debido a estas complicaciones en el diseño del sistema de manejo de cables, se recomendó presupuestar 4 millones de euros para este sistema.

ANEXO 2. Metodología para el cálculo de la potencia.

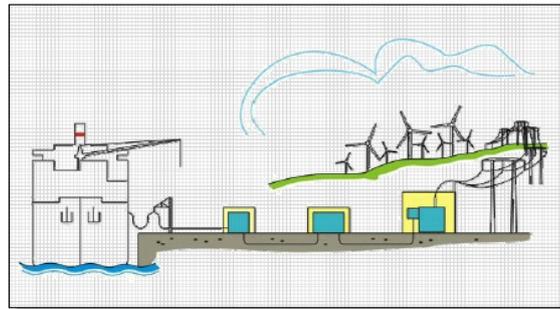
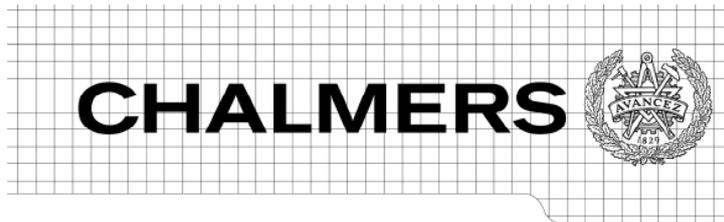
La metodología utilizada para el cálculo de la demanda de electricidad de los cruceros se basa en 4 diferentes estudios:

- **Cálculo de la demanda media en función de la eslora**
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 /6/.*
- **Cálculo de la demanda media en función del GT**
Starcrest Consulting Group, LLC (2017). *White Bay Cruise Terminal Shore Power Analysis – Final Report prepared for the port authority of New South Wales /7/.*
- **Cálculo de la demanda media en función del número de pasajeros**
Techne Consulting, SRL (2010) *Emission estimate methodology for maritime navigation – Carlo Trozzi /8/.*
- **Cálculo de la demanda pico**
Baldi et al. (2015) *Energy and Exergy of a cruise vessel, in proceedings of ECOS 2015: 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of energy systems /9/.*

A continuación se describen cada una de estas metodologías en detalle.

Cálculo de la demanda media en función de la eslora

Para llevar a cabo este cálculo la fuente externa utilizada es la que se muestra en la Figura 25.



SHORE-SIDE POWER SUPPLY

A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port

Master of Science Thesis

PATRIK ERICSSON
ISMIR FAZLAGIC

Department of Energy and Environment
Division of electric power engineering
Masters program in Electric Power Engineering
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden, 2008



Figura 25. *A feasibility study and a technical solution for an onshore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. /6/*

El 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 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, potencia generada por el motor auxiliar y la demanda de potencia en puerto.

De acuerdo con estos valores, se ha establecido una relación entre la longitud del buque y la potencia necesaria durante la estancia en puerto. La Tabla 23 muestra la ecuación creada para este tipo de embarcación.

Tabla 23. Ecuación que relaciona la potencia y la eslora de los cruceros.

CRUCEROS	$131,76 + 26,889 \times X$	X = Eslora (m)
----------	----------------------------	----------------

Cálculo de la demanda media en función del GT

Para el cálculo de la demanda media en función del Gross Tonnage (GT) del buque se ha utilizado la siguiente fuente:

- “Emission estimate methodology for maritime navigation” – Carlo Trozzi.

El 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 elaborado por Trozzi, 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.

La combinación de estas dos estimaciones ha creado la ecuación que se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Ecuación que relaciona la potencia y el GT de los cruceros.

CRUCEROS	$(9,55078 * GT^{0,7570}) * 0,16$	X = GT
----------	----------------------------------	--------

Cálculo de la demanda media en función del número de pasajeros

El último estudio que se ha utilizado como metodología para calcular la potencia de los buques 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.

WHITE BAY CRUISE TERMINAL SHORE POWER ANALYSIS

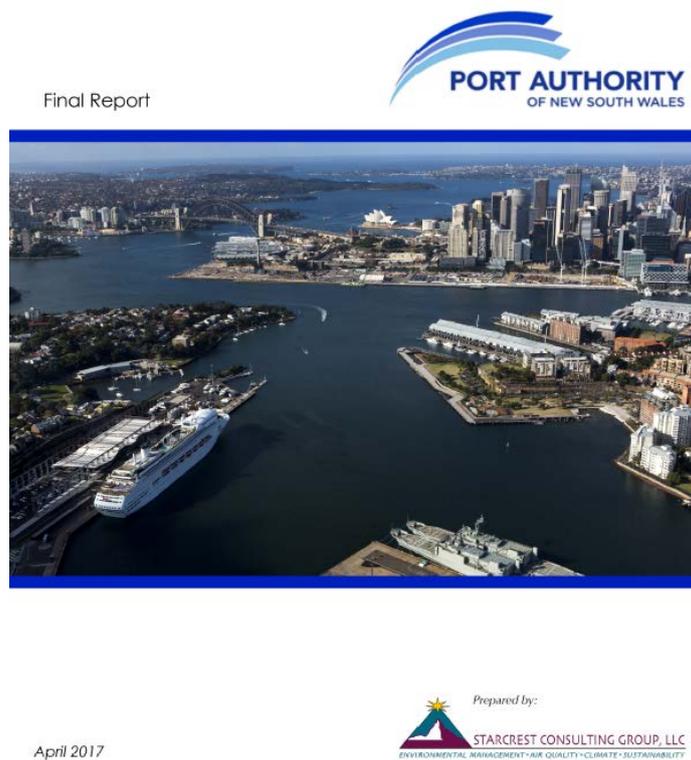


Figura 26. White Bay Cruise Terminal shore power analysis. Port Authority of New South Wales.

Este informe incluye datos sobre la potencia promedio de los cruceros durante el atraque en el muelle, dependiendo del número de pasajeros de cada embarcación.

La Tabla 25 muestra la ecuación obtenida a partir de los datos de este informe, calculando la potencia demandada según el número de pasajeros.

Tabla 25. Ecuación que relaciona la potencia y el número de pasajeros de un crucero.

CRUCEROS	$591,48 + 3,118 \times X$	X = Pasajeros
----------	---------------------------	---------------

Cálculo de los picos de la demanda

El estudio utilizado para calcular los picos que se producen en la demanda de los cruceros es el siguiente:

- *Baldi et al. (2015) Energy and Exergy of a cruise vessel, in proceedings of ECOS 2015: 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of energy systems. /9/.*

Otro elemento para la definición de la demanda es su volatilidad. Los cálculos de potencia media (ver apartados previos) definen la media de la potencia demandada por los buques de pasajeros, no la fluctuación de esta. En función de la activación y desactivación de las instalaciones consumidoras a bordo (aire acondicionado, iluminación, rampas y grúas, etc.), se pueden producir picos. Estos picos son relevantes para el suministro de electricidad y para el dimensionamiento correcto de los equipos eléctricos a instalar en el muelle, de tal manera que haya suficiente capacidad para poder llevar a cabo el suministro. Para ello, se ha definido un factor de picos de demanda en función del estudio de *Baldi et al. (2015) /9/.*

Baldi et al. (2015) /9/ ha representado gráficamente la carga de los motores auxiliares de los cruceros durante su estancia en puerto.

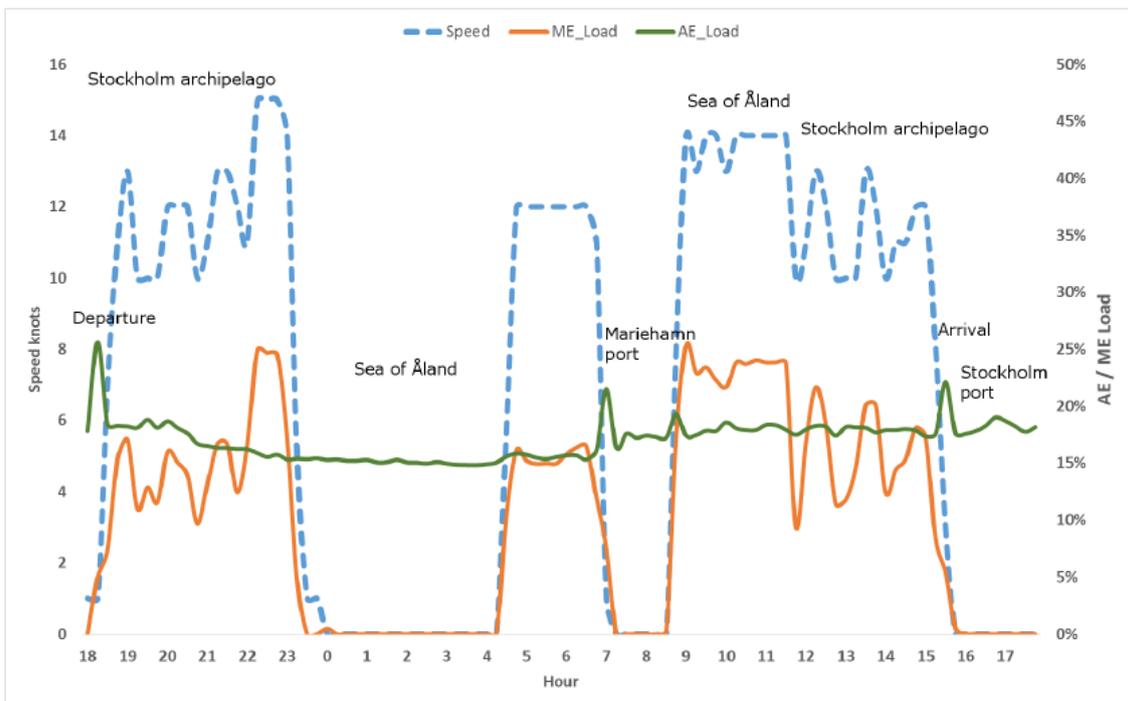


Figura 27. Modelización energética de un crucero. Línea verde: carga de los motores auxiliares (AE_load). Fuente: *Baldi et al. (2015).*

La simulación de *Baldi et al. (2015)* indica que se suelen producir picos en la carga de los motores auxiliares de aproximadamente un 25% por encima de la carga media. Esos picos ocurren habitualmente al principio y final del atraque.

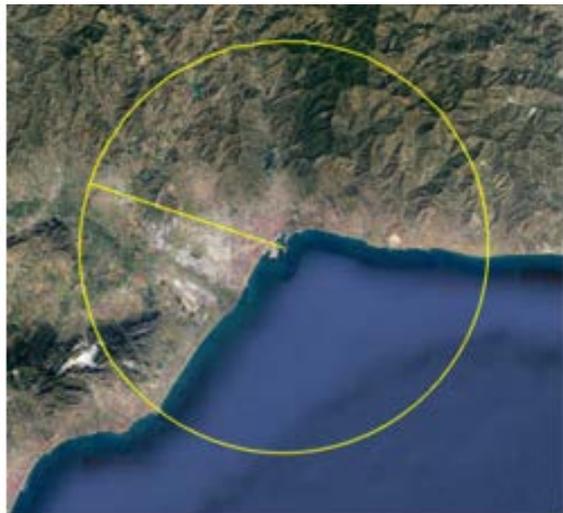
De acuerdo con estas aportaciones y recomendaciones, se ha decidido aplicar un factor de picos de la demanda de 1,3. Es decir, los picos en la demanda pueden sobrepasar la demanda media hasta un 30%.

ANEXO 4. Rangos de afección cruceros Puerto de Málaga.

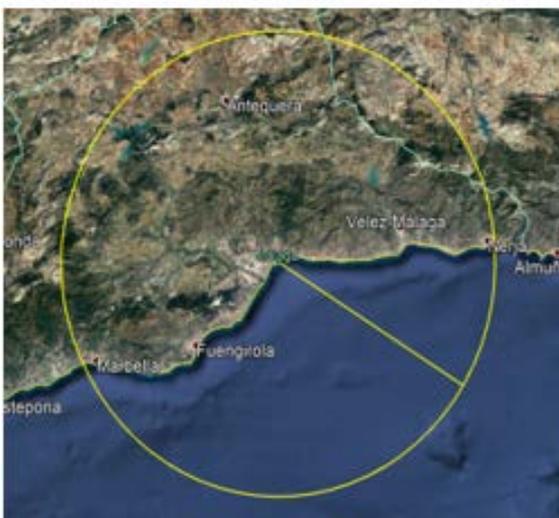




Referencia	Radio	Población
Muelle cruceros Norte	5 km	425.867



Referencia	Radio	Población
Muelle cruceros Norte	15 km	722.773



Referencia	Radio	Población
Muelle cruceros Norte	50 km	1.359.789

ANEXO 5. 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 Málaga 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 Málaga, los cuales encienden sus motores auxiliares para llevar a cabo diferentes actividades mientras se encuentran atracados en puerto. Estos motores auxiliares se alimentan de combustibles fósiles que reducen la calidad del aire en las ciudades donde se sitúa el puerto y perjudican la salud de sus habitantes con residencia próxima al lugar de los atraques.

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

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

Tabla 26. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Fuente: Poweratberth /12/.

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 26 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 28.

$$E_i = AE * t * FE_i$$

- 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 28. 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 27 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.

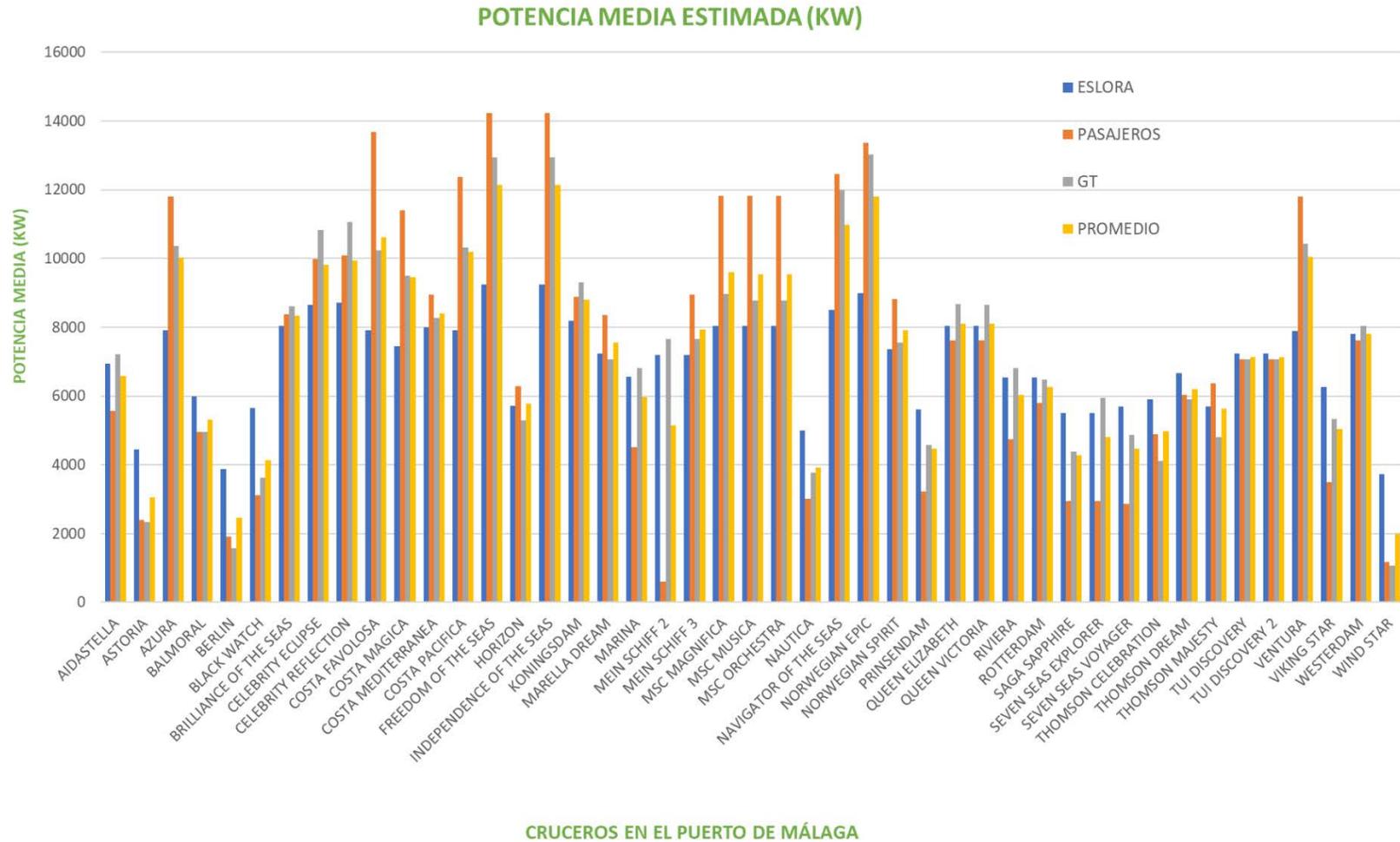
Tabla 27. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE.



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
Hidroeléctrica	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 6. Gráficos de potencia media y demanda eléctrica anual de los cruceros seleccionados en el Puerto de Málaga.



DEMANDA ELÉCTRICA MEDIA EN EL MUELLE DE CRUCEROS NORTE (KW) - Simultaneidad 1

