



ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
DE SISTEMAS OPS EN EL PUERTO DE VIGO

ANÁLISIS PARA LA TERMINAL RO-RO



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:	29 de noviembre de 2019
Ref. oferta:	APV902
Informe N°:	Final, Rev. 0



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

ÍNDICE

Lista de abreviaciones y acrónimos	5
Lista de Figuras.....	6
Lista de Tablas.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ALCANCE DEL ESTUDIO	11
3. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	12
3.1. Muelle objetivo	12
3.2. Buques objetivo.....	14
4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....	18
4.1. Metodología	18
4.2. Análisis de simultaneidad.....	19
4.3. Definición de escenarios	20
4.4. Resultados	21
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO A RO-RO.....	23
5.1. Requisitos de suministro eléctrico	23
5.2. Sistema de gestión de cables y conexión muelle-buque	24
5.3. Alternativa OPS	27
5.4. Alternativa OGSP	34
6. ANÁLISIS ECONÓMICO	44
6.1. Inversión.....	45
6.2. Coste del suministro de energía.....	50
6.3. Bonificación de la tasa T-1.....	52
7. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	53
7.1. Reducción de emisiones.....	53
7.2. Reducción del impacto acústico.....	55
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES	57
9. REFERENCIAS Y ENLACES DE INTERÉS	64
ANEXO I. Metodología para el cálculo de la potencia	66
ANEXO II. Metodología para el cálculo de las emisiones.....	68
ANEXO III. Perfiles de demanda	71
ANEXO IV. Rangos de afectación Ro-Ro Puerto de Vigo.....	73

ANEXO V. Cadena de suministro de GNL.....75

Lista de abreviaciones y acrónimos

APV	Autoridad Portuaria de Vigo
CT	Centro de transformación
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
SSLNG	Terminal Small Scale de GNL (<i>Small Scale Liquefied Natural Gas Terminal</i>)

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques en puerto.....	10
Figura 2. Metodología CLEOPS.....	11
Figura 3. Vista aérea de buques Ro-Ro atracados en el Puerto de Vigo.....	12
Figura 4. Terminal de Ro-Ro (Bouzas), ubicación propuesta para la implementación del sistema OPS para buques tipo Ro-Ro en el Puerto de Vigo.	13
Figura 5. Atraques de buques Ro-Ro en el Puerto de Vigo durante el año 2018.	15
Figura 6. Escalas realizadas por buque en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018.	15
Figura 7. Escalas realizadas por buque en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018 (buques seleccionados).....	17
Figura 8. Número de atraques y horas anuales de estancia en el Puerto de Vigo durante el año 2018 de los Ro-Ro seleccionados para el estudio.	17
Figura 9. Escalas simultáneas en la Terminal Ro-Ro a lo largo del año 2018.	19
Figura 10. Perfil de potencia máxima demandada por los Ro-Ro atracados en el.....	20
Figura 11. Sistema de gestión de cables AMPTelescopic. Fuente: Cavotec.	25
Figura 12. Sistema de gestión de cables y conexión muelle-buque en un duque de alba del Puerto de Long Beach, para el suministro eléctrico a petroleros de BP. Fuente: Port of Long Beach... ..	26
Figura 13. Caja de conexión enterrada AMPVault. Fuente: Cavotec.....	26
Figura 14. Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle....	27
Figura 15. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.....	28
Figura 16. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para el sistema OPS.30	
Figura 17. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.1.	31
Figura 18. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.2.	31
Figura 19. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S2.	32
Figura 20. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S3.	33
Figura 21. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S4.	34
Figura 22. Esquema orientativo de un sistema OGSP para la conexión eléctrica de Ro-Ro en el Puerto de Vigo. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 23. Ejemplo de contenedor para albergar el sistema de almacenamiento de GNL y la unidad de regasificación. Fuente: HAM.....	36

Figura 24. Ejemplo de contenedor para albergar los equipos de generación eléctrica.	37
Figura 25. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.1.....	38
Figura 26. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.2.....	38
Figura 27. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S2.	39
Figura 28. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S3.	40
Figura 29. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S4.	41
Figura 30. Rangos de afectación de la población según la distancia a la Terminal de Ro-Ro (ver Anexo IV).	53
Figura 31. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.	54
Figura 32. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OGSP.....	55
Figura 33. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.....	58
Figura 34. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro.....	59
Figura 35. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro.	59
Figura 31. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.	62
Figura 32. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OGSP.....	62
Figura 33. Vista aérea de la entrada a la zona portuaria de Vigo, resaltando la ubicación de la Terminal SSLNG. Fuente: Reganosa Servicios, Autoridad Portuaria de Vigo [15].....	76
Figura 34. Distribución propuesta de las instalaciones en la Terminal SSLNG. Fuente: Reganosa Servicios, Autoridad Portuaria de Vigo [15].	77

Lista de Tablas

Tabla 1. Características de las rampas de atraque de la Terminal de Ro-Ro.....	13
Tabla 2. Características de las rampas de atraque de la Terminal de Ro-Ro.....	14
Tabla 3. Características de los Ro-Ro atracados en el Puerto de Vigo en 2018.....	14
Tabla 4. Resumen de las estancias de Ro-Ro en el Puerto de Vigo en 2018.	14
Tabla 5. Resumen de los parámetros de selección de los buques objetivo.	16
Tabla 6. Buques Ro-Ro que pasan el filtro de selección.	16
Tabla 7. Ecuaciones utilizadas para la estimación de la potencia máxima demandada por los Ro-Ro durante su estancia en puerto.	18
Tabla 8. Criterios seguidos para la selección de la ubicación de los puntos de conexión.....	21
Tabla 9. Demanda energética de los buques objetivo, de acuerdo a los datos de 2018.	21
Tabla 10. Demanda anual de Ro-Ro en el Puerto de Vigo, para los diferentes escenarios considerados.	22
Tabla 11. Requisitos técnicos del suministro eléctrico a buques en la Terminal de Ro-Ro.....	24
Tabla 12. Especificaciones del transformador para cada escenario de demanda.....	29
Tabla 13. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S1.....	30
Tabla 14. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S2.....	32
Tabla 15. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S3.....	32
Tabla 16. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S4.....	33
Tabla 17. Especificaciones del sistema OGSP según el Escenario.....	36
Tabla 18. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S1.....	37
Tabla 19. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S2.....	39
Tabla 20. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S3.....	39
Tabla 21. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S4.....	40
Tabla 22. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.1.	44
Tabla 23. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.2.	44
Tabla 24. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S2. .	44
Tabla 25. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S3. .	45
Tabla 26. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S4. .	45
Tabla 27. Inversión inicial necesaria para la ampliación de la red eléctrica (sistema OPS).....	46
Tabla 28. Inversión estimada en equipos para el Escenario S1.1.	46

Tabla 29. Inversión en equipos estimada para el Escenario S1.2.	47
Tabla 30. Inversión en equipos estimada para el Escenario S2.	48
Tabla 31. Inversión en equipos estimada para el Escenario S3.	48
Tabla 32. Inversión en equipos estimada para el Escenario S4.	49
Tabla 33. Estimación del coste de suministro de GNL	50
Tabla 34. Comparativa de los costes de combustible entre el sistema actual y el sistema OPS/OGSP.....	51
Tabla 35. Supuestos para el cálculo de la tasa T-1.....	52
Tabla 36. Bonificación de la Tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS/OGSP.....	52
Tabla 37. Mediciones de potencia sonora de los motores auxiliares y equipos de ventilación de los buques Ro-Ro. Fuente: Tecnalía [8].	56
Tabla 38. Resumen de los diferentes Escenarios de demanda contemplados en el estudio.	57
Tabla 39. Demanda anual de Ro-Ro en el Puerto de Vigo, para los diferentes escenarios considerados.	57
Tabla 40. Requisitos técnicos del suministro eléctrico a buques en la Terminal de Ro-Ro.....	57
Tabla 41. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.1.	60
Tabla 42. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.2.	60
Tabla 43. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S2. .	60
Tabla 44. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S3. .	61
Tabla 45. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S4. .	61
Tabla 46. Coste de abatimiento de la alternativa OPS.....	63
Tabla 47. Coste de abatimiento de la alternativa OGSP.	63
Tabla 48. Comparativa de alternativas OPS/OGSP.	63
Tabla 49. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes. Fuente: OPS Master Plan for Spanish Ports [10].	69
Tabla 50. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE.....	70
Tabla 51. Factores de emisión con sistema OPS.....	70
Tabla 52. Factores de emisión con sistema OGSP.	70
Tabla 53. Escenarios para el transporte de GNL. Fuente: Reganosa Servicios,	76

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].

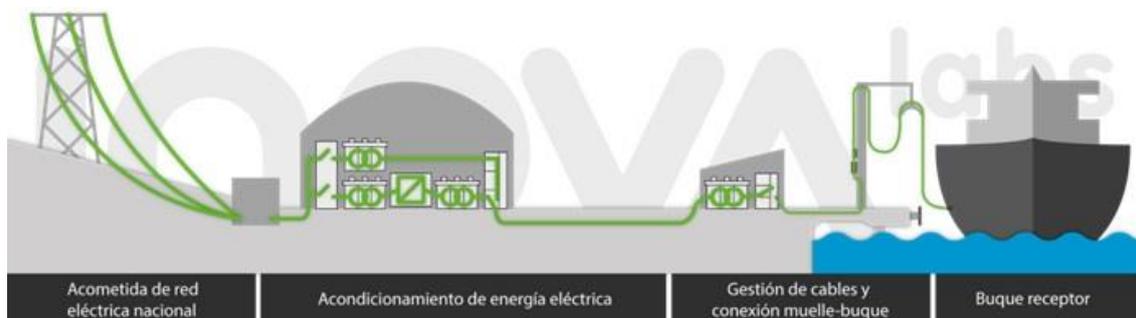


Figura 1. Esquema básico del sistema OPS de suministro eléctrico a buques en puerto.

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del presente estudio comprende un análisis completo de viabilidad para la implantación de un sistema OPS a buques Ro-Ro 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 CASO DE ESTUDIO

El caso que se pretende analizar en el presente informe comprende el estudio de la conexión a la red eléctrica de los buques Ro-Ro 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 buques Ro-Ro 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 de conexión eléctrica la Terminal de Ro-Ro, que se localiza en el Área Portuaria de Bouzas.

Esta terminal dispone de cinco rampas fijas y una móvil para el atraque de buques, y una superficie anexa de almacenamiento descubierto de aproximadamente 400.000 m². Estas rampas o atraques van desde los 150 m de largo y 8 m de calado hasta los 369 m de largo y 14 m calado, permitiendo acoger a los buques de mayor tamaño existentes actualmente.

En la Figura 4 se muestra un mapa del Puerto de Vigo, donde se indica la zona de actuación definida. En esta figura se indica además la posición de las seis rampas, cuyas características se recogen en la Tabla 1.

Asimismo, en la Tabla 2 se indica el grado de ocupación de cada una de las rampas, de acuerdo a los datos de atraque correspondientes a 2018 facilitados por la Autoridad Portuaria de Vigo.

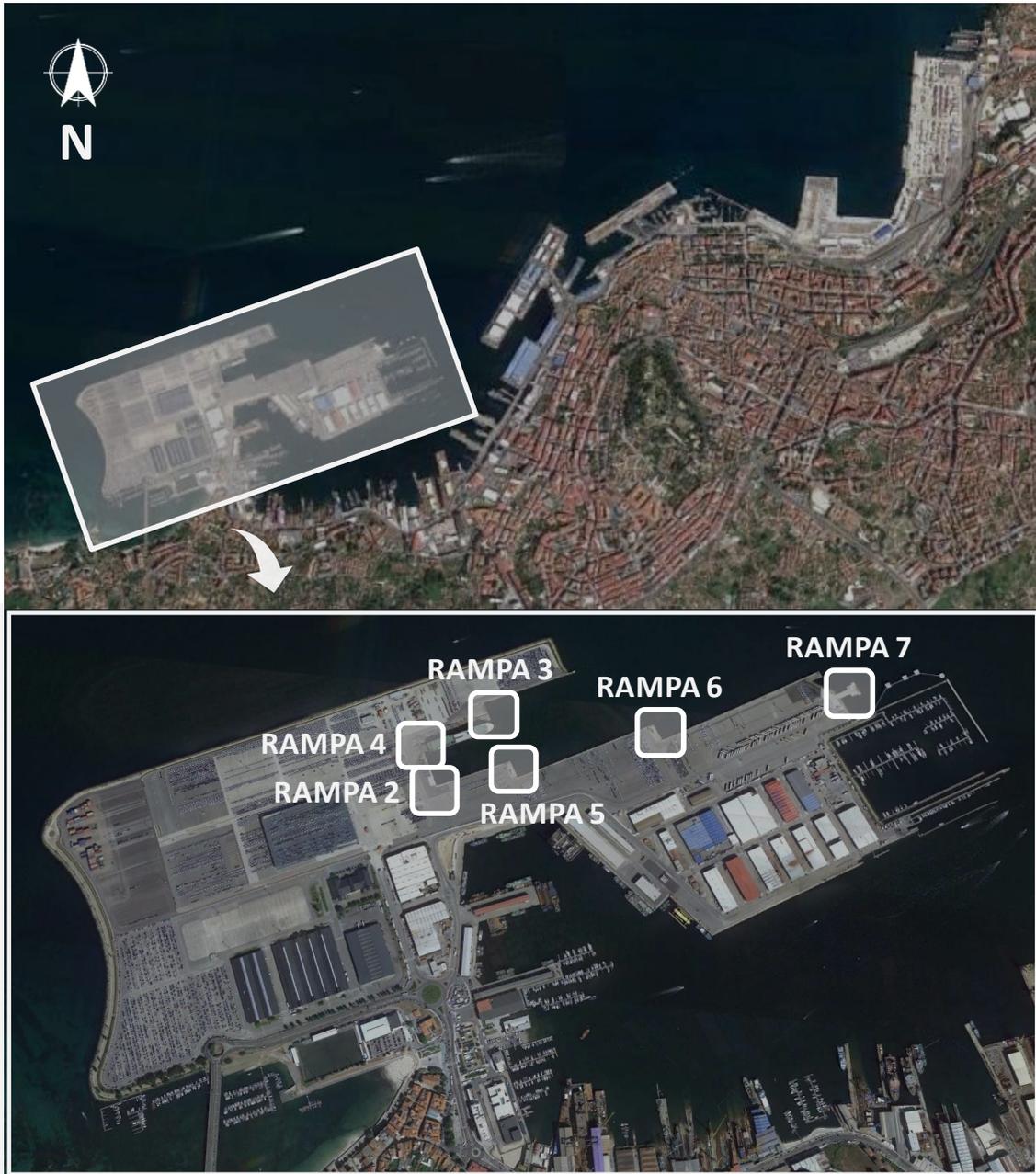


Figura 4. Terminal de Ro-Ro (Bouzas), ubicación propuesta para la implementación del sistema OPS para buques tipo Ro-Ro en el Puerto de Vigo.

Tabla 1. Características de las rampas de atraque de la Terminal de Ro-Ro.

Nombre	Tipo	Longitud (m)	Calado (m)	Ancho (m)
Rampa 2	Fija con muelle	152	8	50
Rampa 3	Fija con muelle	204	10	40
Rampa 4	Fija con muelle	159	8	50
Rampa 5	Fija con muelle	301	11	40
Rampa 5	Fija con muelle	368	14	40
Rampa 7	Móvil	200	15	31

Tabla 2. Características de las rampas de atraque de la Terminal de Ro-Ro.

Nombre	Horas anuales	% Ocupación anual	% Total rampas
Rampa 2	447	5,1%	4,6%
Rampa 3	1.126	12,9%	11,5%
Rampa 4	578	6,6%	5,9%
Rampa 5	3.063	35,0%	31,4%
Rampa 5	1.403	16,0%	14,4%
Rampa 7	3.139	35,8%	32,2%

Tal y como puede observarse, las rampas con mayor grado de utilización son la 7 y la 5. Por el contrario, las rampas 2 y 4, que son las que cuentan con menor longitud y calado, son las que presentan un menor grado de ocupación.

3.2. Buques objetivo

Los buques objetivo del presente estudio son los Ro-Ro 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 de conexión es la Terminal Ro-Ro en el Área Portuaria de Bouzas. Por esta razón, se han seleccionado únicamente aquellos buques que han realizado sus estancias en este punto de atraque.

A continuación, se resumen las características (Tabla 3) y las escalas (Tabla 4) de los buques que han atracado en la Terminal de Ro-Ro en el año 2018, de acuerdo a los datos proporcionados por la Autoridad Portuaria de Vigo.

Tabla 3. Características de los Ro-Ro atracados en el Puerto de Vigo en 2018.

CARACTERÍSTICAS DE LOS RO-RO ATRACADOS EN 2018		
Parámetro	Rango	Promedio
GT	8.191 – 75.283	51.736
Eslora (m)	99 – 232	190
Manga (m)	14 – 37	30

Tabla 4. Resumen de las estancias de Ro-Ro en el Puerto de Vigo en 2018.

ESCALAS DE RO-RO 2018	
Número total de escalas	560
Número total de buques	133
Horas totales de atraque	9.757
Estancia media (horas)	11,24

Sin embargo, tal y como se aprecia en la Figura 5, tan solo siete de estos buques concentran el 50% de la totalidad de atraques en la Terminal de Ro-Ro.

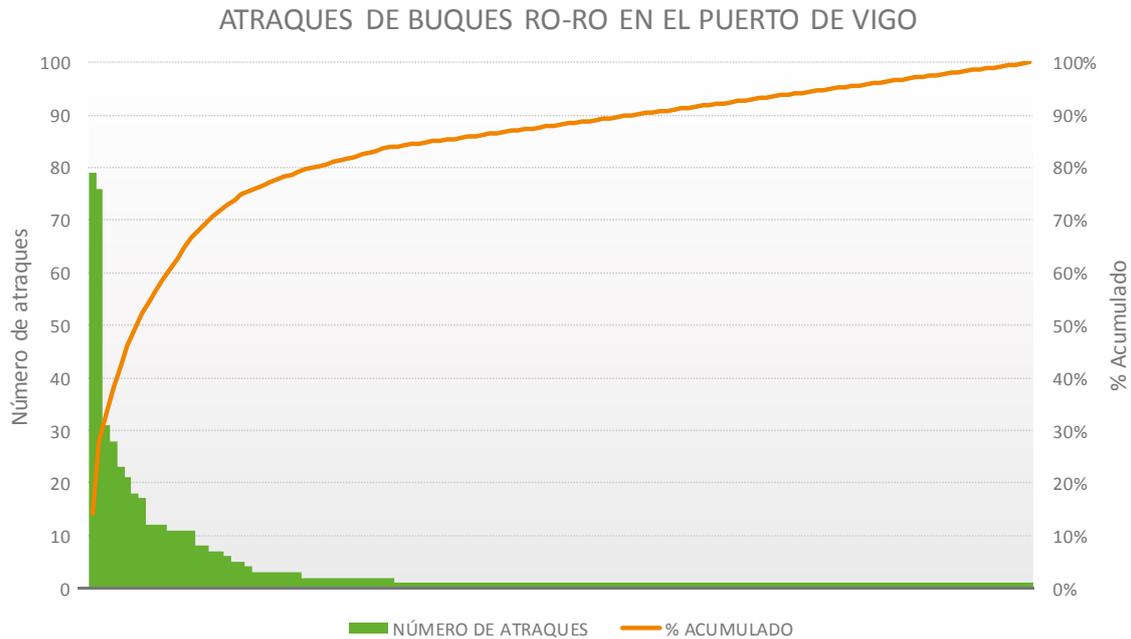


Figura 5. Atraques de buques Ro-Ro en el Puerto de Vigo durante el año 2018.

Analizando los datos de atraque más en detalle, en la Figura 6 se observa que la mayoría de los buques (88,7%) han realizado menos de 10 escalas en el Puerto de Vigo a lo largo del año, mientras que el 9,1% han realizado entre 10 y 30 escalas, y el 2,3% restante ha atracado en la Terminal más de 30 veces.

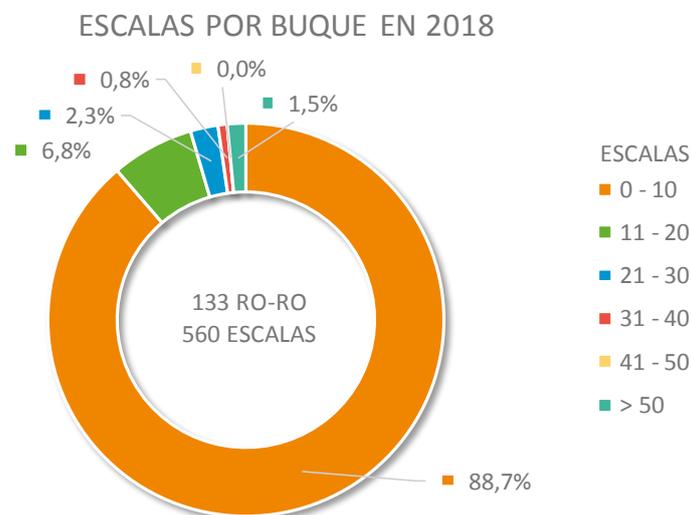


Figura 6. Escalas realizadas por buque en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018.

Para garantizar la viabilidad del sistema OPS, se han considerado una serie de parámetros fundamentales para determinar cuáles son los buques objetivo que permitan garantizar la viabilidad del sistema. Estos criterios de selección se recogen a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de los parámetros de selección de los buques objetivo.

SELECCIÓN DE BUQUES OBJETIVO		
Criterio	Objetivo	Valor mínimo
Nº de atraques anuales	Considerar líneas regulares.	10
Estancia total anual (horas)	Grado de ocupación suficiente para garantizar la viabilidad del sistema.	100
Estancia media (horas)	Duración de la estancia suficiente para que la conexión resulte operativa.	8,5

En base a los criterios anteriores, se han seleccionado para el estudio un total de 15 buques Ro-Ro objetivo, que suponen un total de 373 escalas anuales. En la Tabla 6 se recoge el listado de estos buques objetivo.

Tabla 6. Buques Ro-Ro que pasan el filtro de selección.

Buque	Eslora (m)	GT	Atraques anuales	Horas anuales	Estancia media (h)
SUAR VIGO	140	16.361	79	1.601	20,27
BOUZAS	149	15.224	76	2.066	27,19
GALICIA	149	16.361	31	868	28,01
TENERIFE CAR	133	13.112	28	306	10,91
ARABIAN BREEZE	164	29.874	23	411	17,86
RCC PASSION	168	36.834	21	434	20,66
VERONA	177	37.237	18	263	14,63
BALTIC BREEZE	164	29.979	17	337	19,84
CORAL LEADER	176	40.986	12	200	16,64
EMERALD LEADER	176	40.986	12	167	13,95
NEPTUNE KEFALONIA	170	36.825	12	105	8,72
NEPTUNE GALENE	170	37.602	11	108	9,85
OPAL LEADER	176	40.986	11	172	15,64
VEGA LEADER	180	51.496	11	171	15,55
VICTORY LEADER	186	49.675	11	168	15,31

Por otra parte, en la Figura 7 se presenta el desglose de los atraques para estos buques. Tal y como se observa, la mayoría de los buques objetivo (60%) realiza al año entre 10 y 20 escalas, mientras que el 20% visita el puerto entre 20 y 30 veces al año, y el 20% presenta más de 30 atraques anuales.

**ESCALAS POR BUQUE EN 2018
 (SELECCIONADOS)**

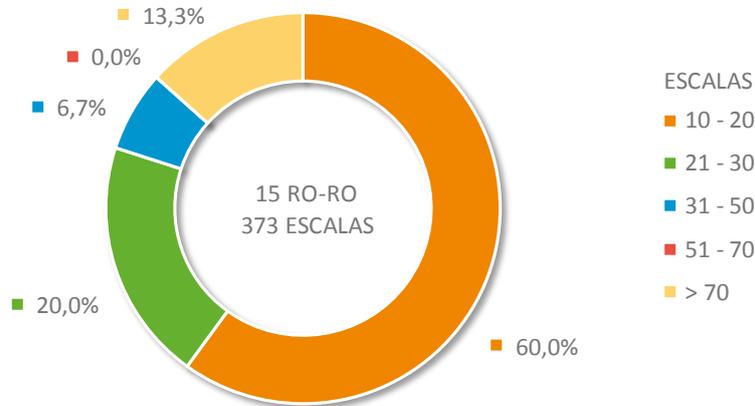


Figura 7. Escalas realizadas por buque en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018 (buques seleccionados).

Finalmente, en la Figura 8 se muestra de forma gráfica el número de atraques y las horas de estancia anual para cada uno de los Ro-Ro seleccionados que atracan en la Terminal de Bouzas.

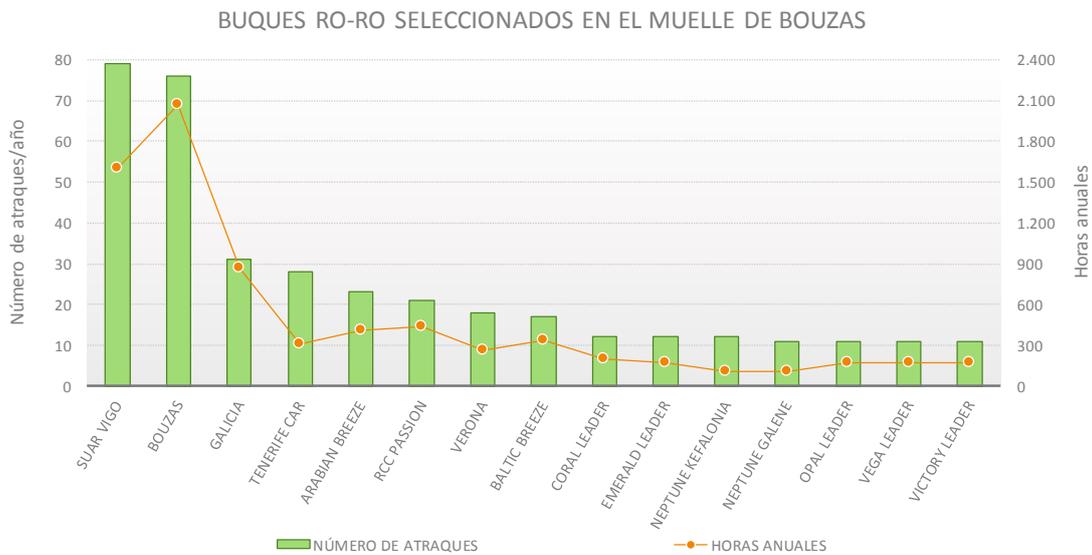


Figura 8. Número de atraques y horas anuales de estancia en el Puerto de Vigo durante el año 2018 de los Ro-Ro seleccionados para el estudio.

4. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

4.1. Metodología

Para la estimación de la demanda eléctrica de los Ro-Ro en la Terminal de Bouzas, se han seguido los siguientes pasos:

- 1) Selección de los buques objetivo, de acuerdo a los criterios establecidos en la Tabla 5 (ver apartado 3.2).
- 2) Análisis de simultaneidad (ver apartado 4.2).
- 3) Definición de los escenarios de demanda (ver apartado 4.2).
- 4) Estimación de la demanda para cada escenario (ver apartado 4.4).
 - i. Estimación de la potencia máxima demanda por cada uno de los buques, en función de sus características: GT y eslora. Para ello, se utilizan las ecuaciones que se indican en la Tabla 7, definidas en base a datos y metodologías para el cálculo de la potencia demandada por Ro-Ro durante su estancia en puerto recogidas en diferentes estudios [6-7]. Para cada buque, se toma el promedio de las potencias máximas calculadas.

Tabla 7. Ecuaciones utilizadas para la estimación de la potencia máxima demandada por los Ro-Ro durante su estancia en puerto.

Potencia máxima estimada (kW)	Parámetro (x)	Referencia
$P_{MAX} = 9,0276 \cdot x - 585,36$	Eslora	Chalmers [6]
$P_{MAX} = 0,24 \cdot (164,578 \cdot x^{0,44})$	GT	Trozzi [7]

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 Ro-Ro, para lo cual se ha considerado un factor de picos de potencia de 1,30 de acuerdo con los valores recogidos en la bibliografía [6].

- ii. Estimación de la energía demandada por los Ro-Ro 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).
- 5) Determinación de la potencia necesaria en el muelle para garantizar el suministro eléctrico de los buques (ver apartado 4.4). Se toma la potencia máxima más alta demandada a partir de la mayor de las potencias pico registradas de entre todos los Ro-Ro y aplicando un factor de potencia de 0,8 (típico en este tipo de buques).

4.2. Análisis de simultaneidad

Uno de los principales problemas que existen en las instalaciones de *Cold Ironing*, es la simultaneidad de atraques, pues al coexistir varios buques en puerto, la potencia requerida para la instalación se multiplica por el número de buques que atracan simultáneamente. Por ello, se ha realizado un análisis de estas situaciones, que permitirá definir los escenarios de demanda, así como dimensionar correctamente la potencia de las tomas que será necesario instalar en el muelle.

En la Figura 9 se resume la frecuencia con la que se han producido escalas simultáneas en la Terminal de Ro-Ro durante 2018. Tal y como se puede observar, el número máximo de buques que han atracado simultáneamente en la Terminal es de cuatro, siendo además poco frecuente que se produzca el atraque de más de dos buques al mismo tiempo.

ATRAQUES SIMULTÁNEOS RO-RO OBJETIVO (2018)

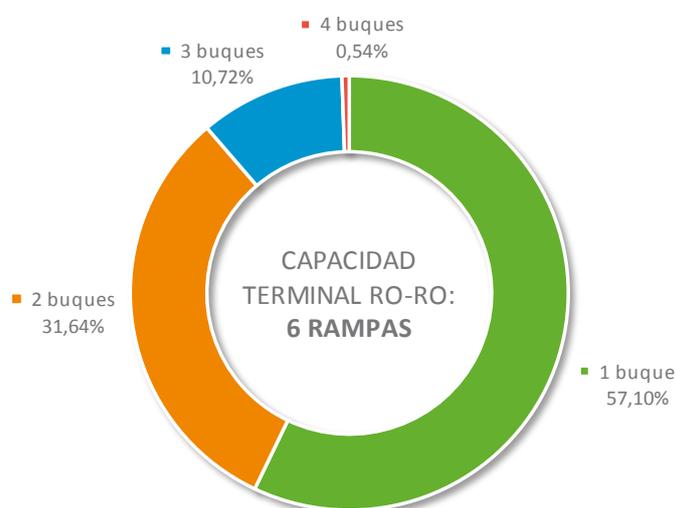


Figura 9. Escalas simultáneas en la Terminal Ro-Ro a lo largo del año 2018.

Por otra parte, en la Figura 10 abajo se muestra de forma gráfica la potencia máxima demandada por los Ro-Ro a lo largo del año¹. Nótese que en aquellos días en los que ha habido varios buques atracados de forma simultánea en la Terminal de Ro-Ro, se diferencia la potencia demandada por cada uno de ellos con colores diferentes. En los casos en los que hay dos o más buques atracados a la vez, la demanda total se corresponde con la suma de la demanda de todos ellos. En el Anexo III, se reproduce la Figura 10 a una escala mayor.

¹ En el período de referencia (2018).

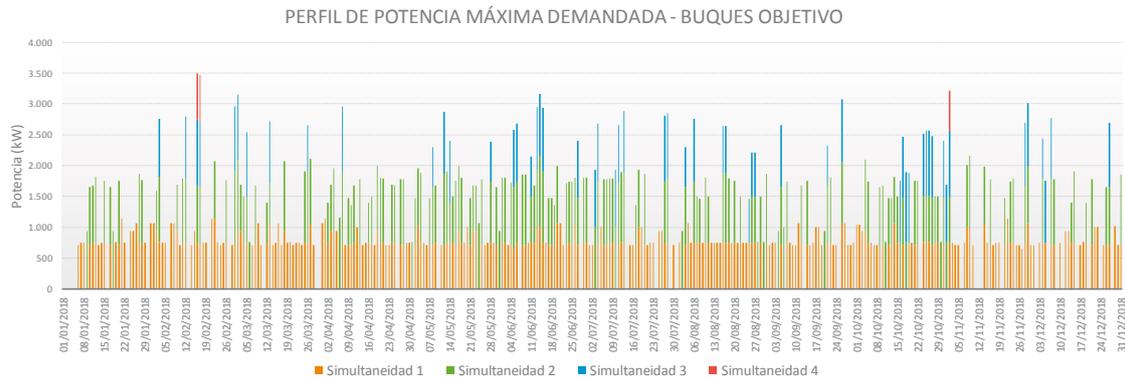


Figura 10. Perfil de potencia máxima demandada por los Ro-Ro atracados en el Puerto de Vigo a lo largo del año 2018 (ver Anexo V).

4.3. Definición de escenarios

En este apartado, se describen los distintos escenarios de demanda contemplados para el dimensionamiento del sistema de conexión eléctrica a buques. Estos escenarios se definen a partir del análisis de simultaneidad realizado en el apartado 4.2, con el objetivo de considerar las diferentes posibilidades.

- **Escenario S1.** Este escenario contempla el dimensionamiento del sistema para la conexión de un único buque de forma simultánea. Se selecciona la Rampa 7 para la instalación de la toma. Este escenario presenta dos variables, que serán analizadas de forma independiente:
 - **Escenario S1.1.** Se contempla únicamente la conexión de los buques Suar Vigo y Bouzas, dado que son los que en conjunto presentan mayor demanda. Además, la naviera (Suardiaz) ha manifestado su interés a la Autoridad Portuaria de Vigo en disponer de una conexión en puerto para estos dos buques.
 - **Escenario S1.2.** En este caso, además de los dos buques anteriores, se contempla la conexión de cualquier otro buque objetivo que pueda demandar suministro de electricidad cuando la Rampa 7 no se esté siendo utilizada por los buques Suar Vigo o Bouzas (la conexión de estos buques se mantiene como prioritaria frente al resto).
- **Escenario S2.** Se contempla el dimensionamiento del sistema para la conexión de hasta dos buques de forma simultánea. Las tomas se instalarán en las Rampas 5 y 7.
- **Escenario S3.** Se contempla el dimensionamiento del sistema para la conexión de hasta tres buques de forma simultánea. Las tomas se instalarán en las Rampas 5, 6 y 7.
- **Escenario S4.** Se contempla el dimensionamiento del sistema para la conexión de hasta cuatro buques de forma simultánea. En este caso, se considera la instalación de tomas en todas las rampas de la Terminal de Ro-Ro.

En la Tabla 8 se indican por orden los criterios seguidos para la selección de las rampas donde conectar los puntos de conexión.

Tabla 8. Criterios seguidos para la selección de la ubicación de los puntos de conexión.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS RAMPAS	
Interés navieras	Se priorizan las rampas donde atracan buques cuyas navieras han manifestado interés por contar con puntos de conexión.
Grado de ocupación	Se priorizan las rampas con mayor grado de ocupación por parte de los buques objetivo.
Tamaño de las rampas	Se priorizan las rampas de mayor tamaño (longitud, ancho y calado), para permitir su utilización por el mayor número posible de buques.
Orientación de las rampas	Se prioriza la instalación de puntos de conexión en rampas que se encuentren en el mismo lado de la terminal, para que los buques puedan conectarse indistintamente en cualquiera de las rampas equipadas. En este caso, se supone que el buque instalará el sistema de conexión a bordo teniendo en cuenta la orientación disponible en el puerto.

4.4. Resultados

En la Tabla 9 se recogen los resultados relativos a la demanda energética de los buques objetivo.

Tabla 9. Demanda energética de los buques objetivo, de acuerdo a los datos de 2018.

Buque	Potencia demandada (kW)	Demanda media anual (kWh)
SUAR VIGO	714,48	1.143.870,04
BOUZAS	745,34	1.539.911,94
GALICIA	755,10	655.656,69
TENERIFE CAR	648,43	198.172,54
ARABIAN BREEZE	935,16	384.037,73
RCC PASSION	999,72	433.660,92
VERONA	1.041,52	274.336,87
BALTIC BREEZE	935,95	315.741,61
CORAL LEADER	1.061,23	211.944,94
EMERALD LEADER	1.061,23	177.702,65
NEPTUNE KEFALONIA	1.006,43	105.255,99
NEPTUNE GALENE	1.013,56	109.802,47
OPAL LEADER	1.061,23	182.619,67
VEGA LEADER	1.137,69	194.564,12
VICTORY LEADER	1.153,37	194.188,54

Por otra parte, en la Tabla 10 se resumen los resultados de la estimación de demanda y la potencia requerida, para los distintos escenarios definidos en el apartado 4.2. Cabe destacar que para la estimación de demanda en los casos en los que se han registrado escalas simultáneas, se han priorizado los buques que han requerido una cantidad de energía mayor durante su estancia.

Tabla 10. Demanda anual de Ro-Ro en el Puerto de Vigo, para los diferentes escenarios considerados.

DEMANDA ELÉCTRICA DE RO-RO OBJETIVO EN EL PUERTO DE VIGO					
Escenario	S1.1	S1.2	S2	S3	S4
% Demanda Ro-Ro objetivo	43,8%	55,5%	90,5%	99,7%	100,0%
Demanda media anual (kWh)	2.064.448	2.614.355	4.260.713	4.696.683	4.708.821
Potencia media requerida (kW)	573	875	1.607	2.277	2.667
Potencia media requerida (kVA)	717	1.094	2.009	2.846	3.333
Potencia máx. requerida (kW)	745	1.138	2.089	2.960	3.467
Potencia máx. requerida (kVA)	932	1.422	2.612	3.700	4.333

Como puede observarse, conectando un único buque a la vez es posible cubrir más de la mitad de la demanda eléctrica de los Ro-Ro objetivo. Asimismo, con dos tomas se cubriría más del 90% de la demanda, mientras que garantizar la conexión de tres o más buques de forma simultánea únicamente comprendería el 9,5% de la demanda restante.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO A RO-RO

En el presente apartado, se definen las principales características del sistema de que permitirá el suministro eléctrico a buques en la Terminal de Ro-Ro durante su estancia en puerto. Para ello, se plantean dos posibles alternativas:

- **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, ya que 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 (ver Anexo V). En cuanto a la configuración del sistema, formarán parte del esquema general los siguientes elementos:
 - Sistema de almacenamiento de GNL.
 - Generadores con la capacidad suficiente para satisfacer la demanda eléctrica de los buques.
 - Sistema de gestión de cables (común a la alternativa OPS).
 - Equipos para la conexión buque-muelle y suministro eléctrico (común 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%).

5.1. Requisitos de suministro eléctrico

A partir de la demanda calculada en el apartado 4, se han definido en la Tabla 11 las principales especificaciones para el suministro eléctrico a buques. Estas vienen determinadas por las siguientes características:

- **Simultaneidad de suministro:** Cantidad de buques que atracan y se conectan al sistema a la vez en la Terminal de Ro-Ro.
- **Puntos de conexión:** Lugares en el muelle que existen para poder conectar los buques.

- **Potencia máxima necesaria:** Demanda máxima del buque (kW), y cantidad de energía necesaria (kVA) teniendo en cuenta el factor de potencia.
- **Factor de ampliación:** Representación de la estimación de potencia adicional necesaria en una toma por motivos de ampliación de potencia en los buques conectados a ella.
- **Potencia instalada necesaria:** Potencia a instalar en muelle teniendo en cuenta cuestiones de ampliación, en demanda (kW) y potencia a instalar (KVA) contando con el factor de potencia.
- **Voltaje de suministro:** Voltaje al que debe ser suministrada la energía según las normas IEC/ISO/IEEE 80005-1 [5] e IEC/PAS 80005-3 [17].
- **Frecuencia de suministro:** Frecuencia a la que debe ser suministrada la energía, existiendo buques de 50 y 60 Hz.

Tabla 11. Requisitos técnicos del suministro eléctrico a buques en la Terminal de Ro-Ro.

REQUISITOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO A RO-RO					
Escenario	S1.1*	S1.2	S2	S3	S4
Simultaneidad de suministro	1	1	2	3	4
Rampas con conexión	7	7	5 y 7	5, 6 y 7	Todas
Puntos de conexión	1	1-2	2-4	3-6	6-12
Potencia máxima necesaria (Tabla 10)	745 kW (932 kVA)	1.138 kW (1.422 kVA)	2.089 kW (2.612 kVA)	2.960 kW (3.700 kVA)	3.467 kW (4.333 kVA)
Factor de ampliación	20%	20%	20%	20%	20%
Potencia instalada necesaria	894 kW (1.118 kVA)	1.365 kW (1.707 kVA)	2.507 kW (3.134 kVA)	3.552 kW (4.440 kVA)	4.160 kW (5.200 kVA)
Voltaje de suministro	0,4 kV	6,6 kV	6,6 kV	6,6 kV	6,6 kV
Frecuencia de suministro	50 Hz	50 y 60 Hz	50 y 60 Hz	50 y 60 Hz	50 y 60 Hz

* Para el caso particular del Escenario S1.1, se han tenido en cuenta los valores de voltaje frecuencia de suministro especificados en la bibliografía para el caso concreto de los buques Suar Vigo y Bouzas [16].

5.2. Sistema de 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.

El equipo de gestión de cables estará constituido por un sistema de manejo de cables que proporcionará rapidez, facilidad de uso y seguridad en las maniobras de conexión / desconexión con el buque. Para la Terminal de Ro-Ro, se propone un sistema de gestión de cable fijo, compuesto básicamente por un carrete para recoger el cable, una pluma telescópica y un sistema dispensador de cable, similar al que se presenta en la Figura 11.

Entre las principales características de este sistema se encuentran las siguientes:

- Precisión y rapidez en la conexión y desconexión (30 segundos).
- Alta flexibilidad operacional y de seguridad gracias al brazo telescópico, que permite ampliar el rango de maniobra en 25 m (valor estándar para el modelo propuesto).

- Adaptabilidad a las mareas y condiciones meteorológicas.
- Posibilidad de realizar las operaciones de forma remota.



Figura 11. Sistema de gestión de cables AMPTelescopic. Fuente: Cavotec.

En cuanto a las cajas de conexiones, estas consistirán fundamentalmente en 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.

En el caso específico de la Rampa 7, dada la particular ubicación del sistema de conexión en uno de los duques de alba, se propone la instalación de cajas de conexión verticales. 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. En la Figura 12 se puede ver el uso de este tipo de equipos en el Puerto de Long Beach, donde el sistema de conexión se encuentra también sobre un duque de alba.



Figura 12. Sistema de gestión de cables y conexión muelle-buque en un duque de alba del Puerto de Long Beach, para el suministro eléctrico a petroleros de BP. Fuente: Port of Long Beach.

En cuanto al resto de localizaciones propuestas de la Terminal Ro-Ro, se propone la instalación de cajas de conexiones enterradas (Figura 13), consistentes en pequeñas construcciones subterráneas integradas a lo largo del muelle y donde se encuentran las conexiones eléctricas. Estas cajas están tapadas con un portón metálico o de otro material que aseguran una base lo suficientemente sólida para que se pueda transitar sobre ellas cuando no están en uso.



Figura 13. Caja de conexión enterrada AMPVault. Fuente: Cavotec.

Además de implicar una obra de instalación reducida, este sistema no influye en las actividades portuarias y permite operaciones seguras y fáciles, accionadas por una sola persona. La operativa, es similar a las cajas de conexiones verticales, es decir, el operario abre la tapa y conecta y enclava el cable al conector que está en el interior de la caja de conexiones.

Finalmente, para definir el número de puntos de conexión que es necesario instalar en cada una de las rampas equipadas, se consideran los siguientes supuestos:

- En el caso del Escenario S1.1, al contemplarse dos buques concretos de similares características, se considera un único punto de conexión en muelle en una ubicación predeterminada, compatible con la posición de la conexión a bordo de ambos buques.
- Para el resto de Escenarios, al abarcar varios buques objetivos con diferentes características, se propone la instalación de dos puntos de suministro en cada una de las rampas equipadas, de forma que se pueda dar suministro a Ro-Ro que presenten el punto de conexión en sitios diferentes (p.e., situando un punto de conexión en popa y otro en proa). No obstante, dado que cada punto de conexión debe ir equipado con su propio sistema de gestión de cables (al tratarse de un sistema fijo), y dado el coste de estos equipos, se propone la instalación del segundo punto de conexión como opcional².

5.3. Alternativa OPS

En este apartado se describe la configuración del sistema OPS propuesto y los equipos eléctricos necesarios para el suministro de electricidad a Ro-Ro en el Puerto de Vigo, de acuerdo al esquema representado en la Figura 14.

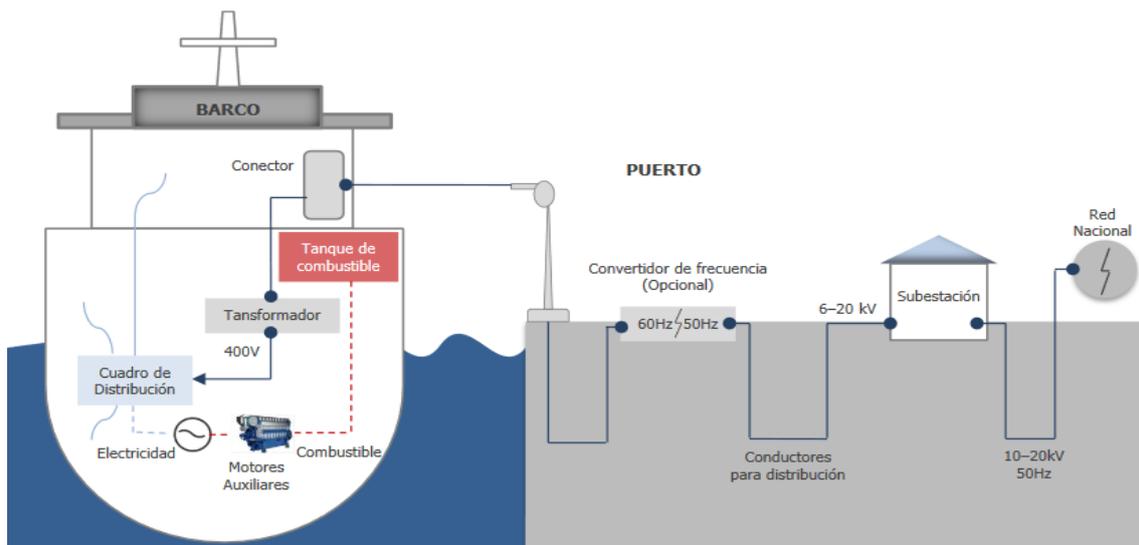


Figura 14. Representación de los equipos eléctricos para la instalación eléctrica en muelle.
Fuente: Puertos del Estado [19].

² A efectos de poder comparar costes y facilitar la toma de decisiones por parte de la Autoridad Portuaria de Vigo, en el presente informe se incluyen las dos opciones (instalación de 1 o 2 puntos de conexión en cada una de las rampas equipadas).

5.3.1. Disponibilidad 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 de la Terminal de Ro-Ro del Puerto de Vigo, el punto más cercano para la acometida con potencia necesaria es la Subestación de Balaídos, situada fuera de las instalaciones de la Autoridad Portuaria de Vigo.

Por lo tanto, sería necesario realizar una ampliación de la red eléctrica hasta el nuevo Centro de Transformación portuario (ver apartado 295.3.2 a continuación). En concreto, se prevé que sería necesario llevar una línea de Media Tensión (15 kV) desde la Subestación de Balaídos hasta el nuevo Centro de Transformación de la Terminal de Ro-Ro.

En la Figura 15 se muestra de forma orientativa la acometida que se debería llevar a cabo para disponer de potencia suficiente en las rampas objetivo. Tal y como se indica en el esquema, la acometida a la red eléctrica planteada tendría una longitud total aproximada de 3,6 km.

Por otra parte, cabe destacar que, para la demanda estimada en los distintos escenarios, resultaría viable la conexión a una red existente, siempre y cuando esta disponga de la suficiente potencia disponible. Esta posibilidad implicaría un menor coste de inversión, al no ser necesaria la ampliación de la red eléctrica. No obstante, para verificar este punto sería necesario realizar una solicitud oficial de ampliación de potencia a la compañía distribuidora, lo cual se ha descartado según lo acordado con la Autoridad Portuaria de Vigo. A efectos del presente estudio, se considera el caso más desfavorable donde es necesaria la ampliación de la red.

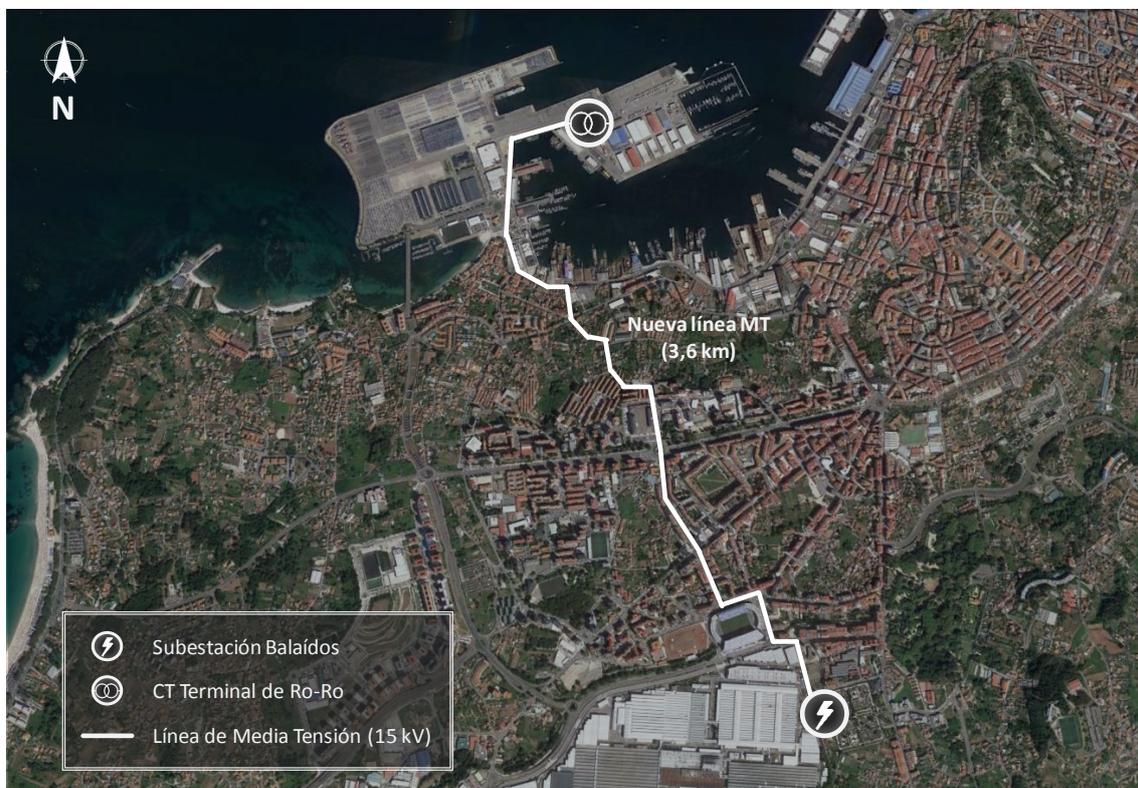


Figura 15. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.

5.3.2. Equipos eléctricos

La Terminal de Ro-Ro no dispone actualmente de un punto de conexión con potencia suficiente para abastecer a los buques planteados. Por tanto, es necesario instalar un nuevo **Sistema de Interconexión a la Red de Media Tensión** cerca de los muelles objetivo.

Este sistema permitirá el acondicionamiento de la energía eléctrica desde la red de Media Tensión (15 kV y 50 Hz) hasta la tensión y la frecuencia de suministro en cada caso:

- En el caso del Escenario S1.1, la alimentación a los dos buques contemplados se realizará a una tensión de 0,4 kV y se dispondrá de una frecuencia de 50 Hz.
- Para el resto de Escenarios, la alimentación a los buques objetivo se realizará a una tensión de 6,6 kV y se dispondrá de una frecuencia de 50 y 60 Hz.

Los principales equipos que formarán parte del Sistema de Interconexión son los siguientes:

- 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 de 50 Hz.
- Transformador reductor, con cambiador de tomas automático y PLC asociado (cumpliendo con la norma ISO 80005), y dieléctrico líquido biodegradable (éster natural vegetal). Las especificaciones del transformador para cada escenario se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones del transformador para cada escenario de demanda.

CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR		
Escenario	Potencia	Relación de transformación
Escenario S1.1	894 kW (1.118 kVA)	15/0,4 kV a 50 Hz
Escenario S1.2	1.365 kW (1.707 kVA)	15/6,6 kV a 50 Hz
Escenario 2	2.507 kW (3.134 kVA)	
Escenario 3	3.552 kW (4.440 kVA)	
Escenario 4	4.160 kW (5.200 kVA)	

- Convertidor de frecuencia electrónico 50/60 Hz, con potencia máxima unitaria de 10 MVA, e integrado en un container que incluye sistema de refrigeración. En el caso particular del Escenario S1.1 este equipo no es necesario, ya que el suministro se realizaría a una única frecuencia de 50 Hz.
- Integración física/eléctrica de la aparata de media tensión y el control asociado.
- Sistema de protecciones en media tensión y control básico.

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

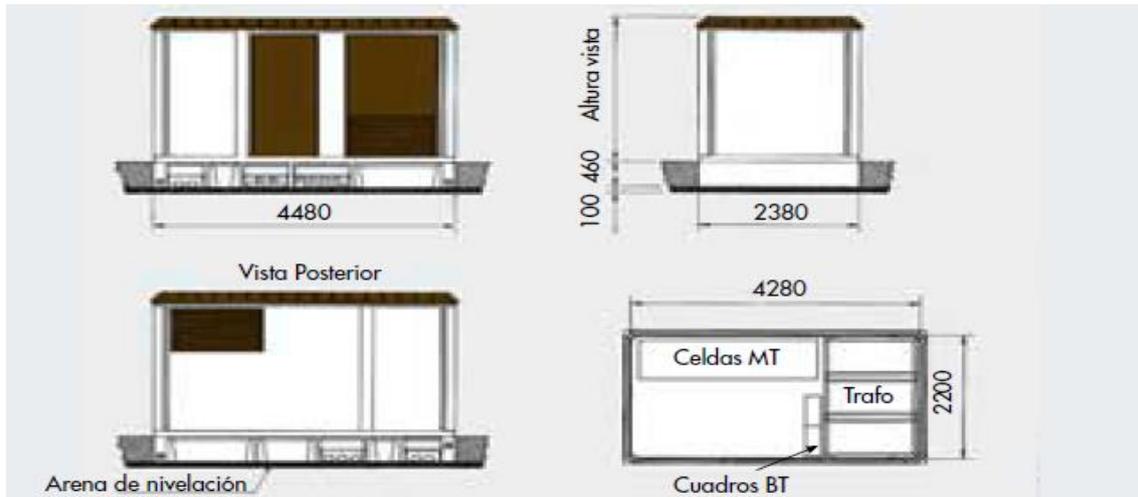


Figura 16. Edificación para alojar los componentes eléctricos necesarios para el sistema OPS.
Fuente: Ormazábal.

Por otro lado, hay que tener en cuenta el espacio necesario para la instalación de los equipos eléctricos de transformación. Según datos del propio fabricante, una edificación típica para alojar los equipos eléctricos necesarios para la transformación de la energía eléctrica tiene las medidas y características que se muestran en la Figura 16 anterior.

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 14. Para ello, serán necesarias líneas de alimentación y conectores cable de conexión, con una tensión de 0,4 kV para el caso del Escenario S1.1 y 6,6 kV para el resto de Escenarios.

5.3.3. Configuración del sistema OPS

En base a todo lo anterior, a continuación se resumen las características de las soluciones OPS propuestas para los Escenarios contemplados, así como la configuración propuesta para el sistema OPS en cada caso.

Escenario S1

Tabla 13. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S1.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S1		
	S1.1	S1.2
Ubicación de la instalación	Rampa 7	Rampa 7
Simultaneidad de suministro	1	1
Puntos de conexión	1	1-2
Potencia en muelle necesaria (kW)	894	1.365
Potencia en muelle necesaria (kVA)	1.118	1.707
Voltaje de suministro (kV)	0,4	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija	Grúa fija

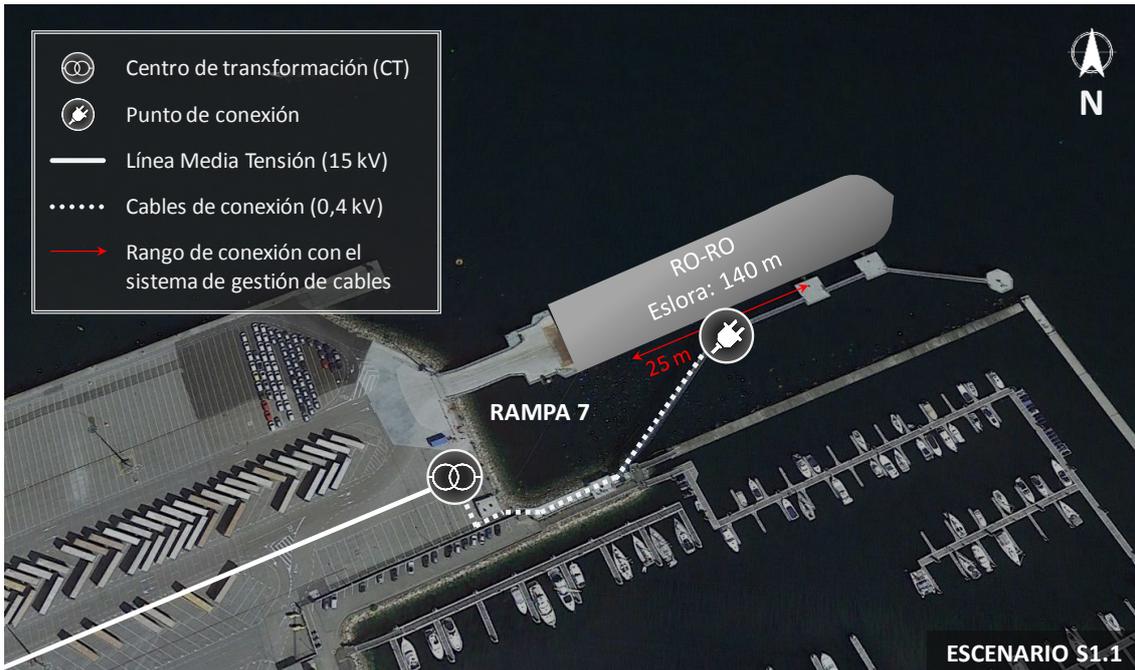


Figura 17. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.1.

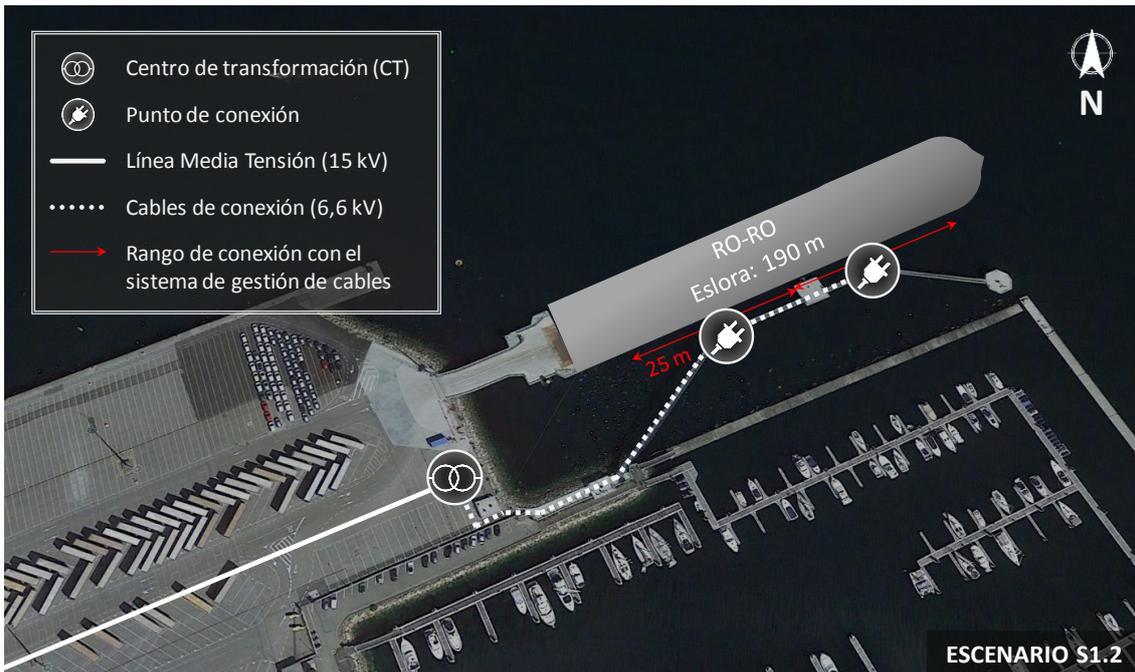


Figura 18. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.2.

Escenario S2

Tabla 14. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S2.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S2	
Ubicación de la instalación	Rampa 5, Rampa 7
Simultaneidad de suministro	2
Puntos de conexión	2-4
Potencia en muelle necesaria (kW)	2.507
Potencia en muelle necesaria (kVA)	3.134
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija

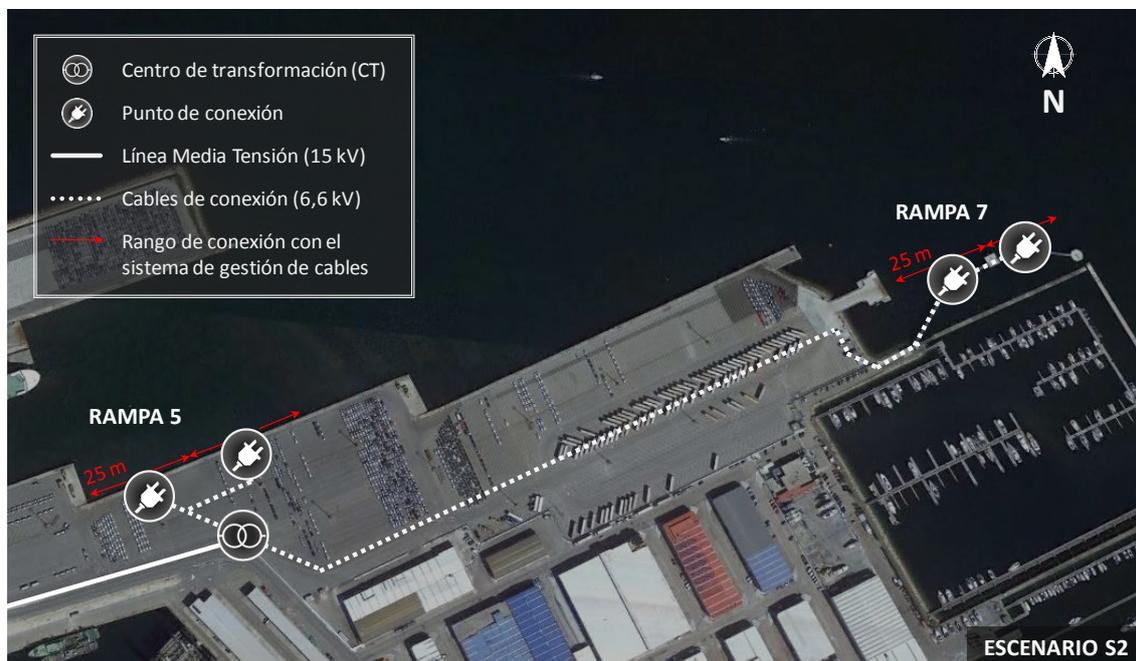


Figura 19. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S2.

Escenario S3

Tabla 15. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S3.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S3	
Ubicación de la instalación	Rampa 5, Rampa 6, Rampa 7
Simultaneidad de suministro	3
Puntos de conexión	3-6
Potencia en muelle necesaria (kW)	3.552
Potencia en muelle necesaria (kVA)	4.440
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija



Figura 20. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S3.

Escenario S4

Tabla 16. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S4.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S4	
Ubicación de la instalación	Todas las Rampas
Simultaneidad de suministro	4
Puntos de conexión	6-12
Potencia en muelle necesaria (kW)	4.160
Potencia en muelle necesaria (kVA)	5.200
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija

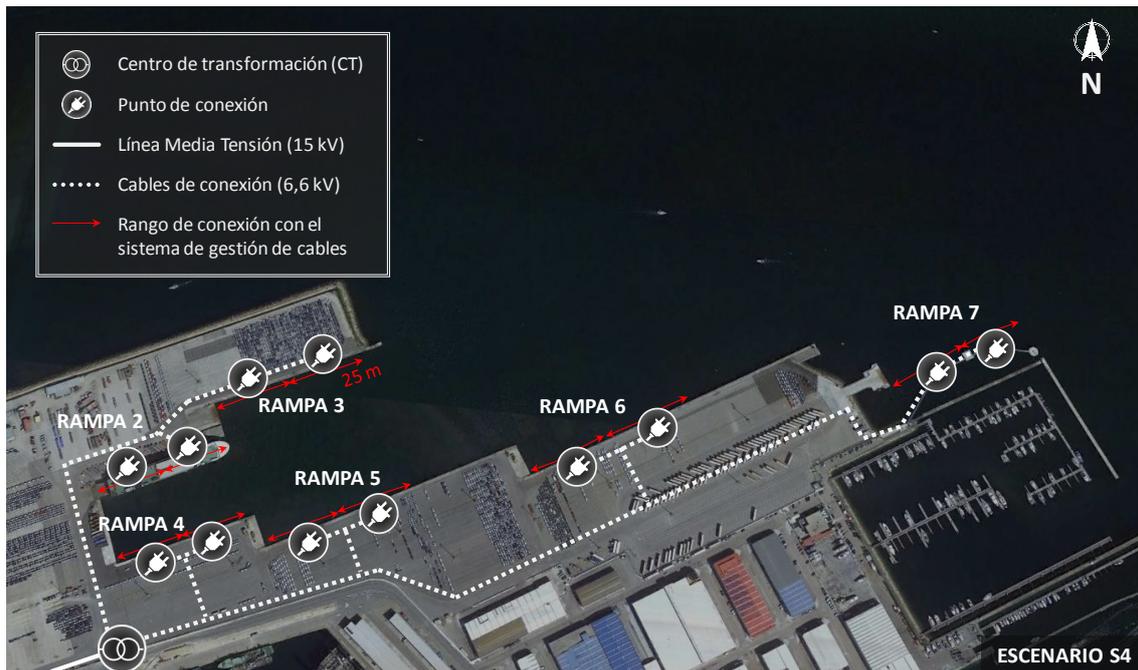


Figura 21. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S4.

5.4. Alternativa OGSP

En este apartado se describe la configuración del sistema OGSP propuesto, así como los principales equipos para posibilitar el suministro de electricidad a Ro-Ro en el Puerto de Vigo a través de este sistema, de acuerdo al esquema general del mismo propuesto en la Figura 22. Tal y como se puede observar, se plantea un sistema autónomo con las siguientes características:

- Generación de la electricidad a partir de GNL.
- Sistema contenerizado, de manera que se facilite la modularidad para adaptarlo a la demanda, así como su movilidad dentro del puerto en caso de que fuese necesario (demandas estacionales, cambio del punto de atraque de los buques objetivo, ...).
- Inclusión de baterías de almacenamiento para gestionar los picos de demanda en caso de que fuese necesario.
- Sistema de gestión inteligente para la optimización integral del proceso (negocio, operación, mantenimiento).
- Conexión y/o integración en el sistema digital de gestión portuaria.

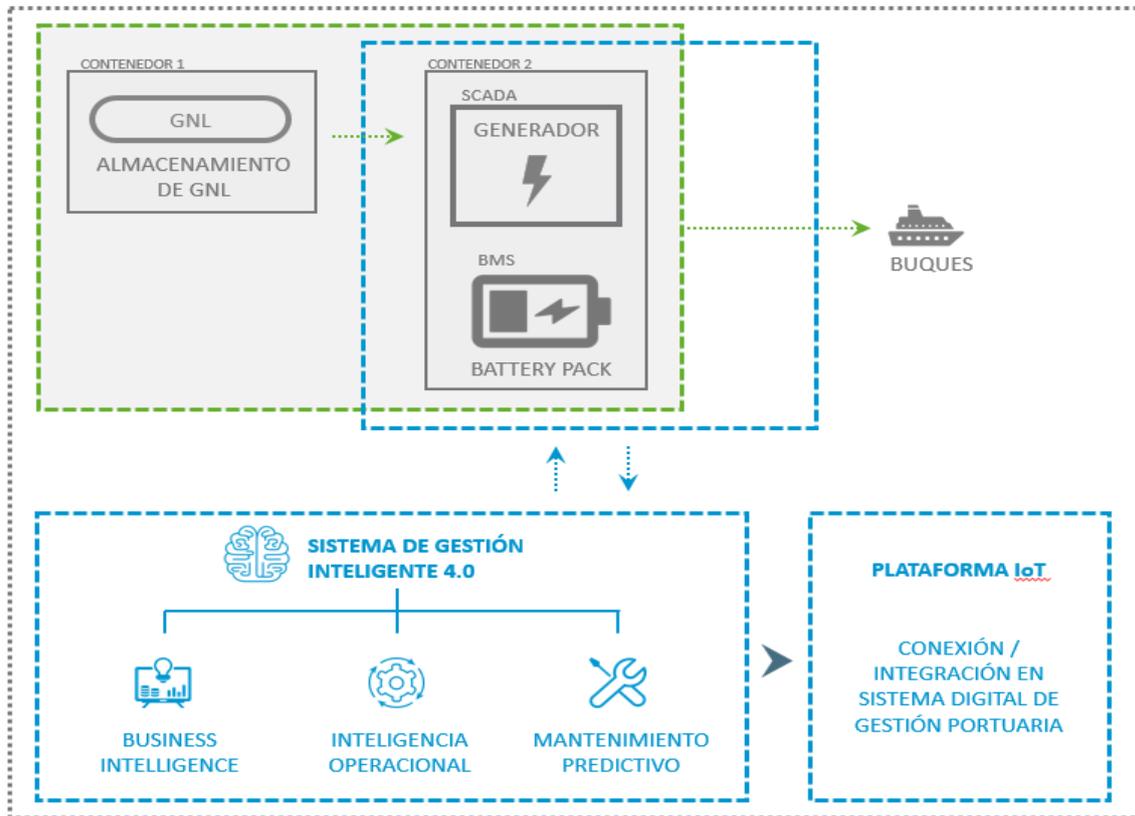


Figura 22. Esquema orientativo de un sistema OGSP para la conexión eléctrica de Ro-Ro en el Puerto de Vigo. Fuente: Elaboración propia.

5.4.1. Equipos necesarios

De acuerdo al esquema planteado en la Figura 22, se contempla albergar los diferentes equipos necesarios en dos contenedores ISO de 40 pies (12,192 x 2,438 m).

En el **contenedor de almacenamiento** (Figura 23), estarán alojados los siguientes elementos:

- Dos depósitos Tipo C para el almacenamiento de GNL, con la capacidad mínima total que se indica en la Tabla 17 para cada escenario, suficiente para garantizar el suministro de energía durante una estancia completa en puerto de los buques objetivo.
- Unidad de regasificación de gas natural para alimentar el generador, incluyendo vaporizadores, una caja eléctrica ATEX, y una estación de regulación y odorización del gas.

Por otra parte, el **contenedor de generación eléctrica** (Figura 24) albergará los siguientes equipos:

- Un grupo electrógeno alimentado con GNL, con una tensión de 0,4 V (Escenario S1.1) o 6,6 kV (resto de Escenarios) una frecuencia de 50 Hz y la potencia que se indica en la Tabla 17 según el Escenario.

- Battery Pack o sistema de baterías de almacenamiento de energía (opcional), con la capacidad mínima que se indica en la Tabla 17. La instalación de este sistema permitiría gestionar los picos de demanda, logrando el funcionamiento del generador en su nivel óptimo de rendimiento en todo momento.
- Unidad de control.

Tabla 17. Especificaciones del sistema OGSP según el Escenario.

ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DEL SISTEMA OGSP			
Escenario	Potencia grupo electrógeno	Capacidad almacenamiento GNL	Capacidad Battery Pack
Escenario S1.1	894 kWe (1.118 kVA)	10 m ³ (2 x 5 m ³)	180 kWh
Escenario S1.2	1.365 kWe (1.707 kVA)	10 m ³ (2 x 5 m ³)	270 kWh
Escenario 2	2.507 kWe (3.134 kVA)	12 m ³ (2 x 6 m ³)	490 kWh
Escenario 3	3.552 kWe (4.440 kVA)	16 m ³ (2 x 8 m ³)	685 kWh
Escenario 4	4.160 kWe (5.200 kVA)	18 m ³ (2 x 9 m ³)	800 kWh

Asimismo, salvo en el caso particular del Escenario S1.1 será necesario disponer de un convertidor de frecuencia electrónico 50/60 Hz, con potencia máxima unitaria de 10 MVA, e integrado en un container que incluye sistema de refrigeración.

Finalmente, es necesario extender el cableado que unirá el sistema OGSP con los distintos puntos de conexión en el muelle. Para ello, serán necesarias líneas de alimentación y conectores cable de conexión, con una tensión de 0,4 kV para el caso del Escenario S1.1 y 6,6 kV para el resto de Escenarios.



Figura 23. Ejemplo de contenedor para albergar el sistema de almacenamiento de GNL y la unidad de regasificación. Fuente: HAM.



Figura 24. Ejemplo de contenedor para albergar los equipos de generación eléctrica.
 Fuente: Suardiaz /18/.

5.4.2. Configuración del sistema OGSP

En base a todo lo anterior, a continuación se resumen las características de las soluciones OPS propuestas para los Escenarios contemplados, así como la configuración propuesta para el sistema OPS en cada caso.

Escenario S1

Tabla 18. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S1.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S1		
	S1.1	S1.2
Ubicación de la instalación	Rampa 7	Rampa 7
Simultaneidad de suministro	1	1
Puntos de conexión	1	1-2
Potencia del generador (kWe)	894	1.365
Potencia del generador (kVA)	1.118	1.707
Voltaje de suministro (kV)	0,4	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija	Grúa fija

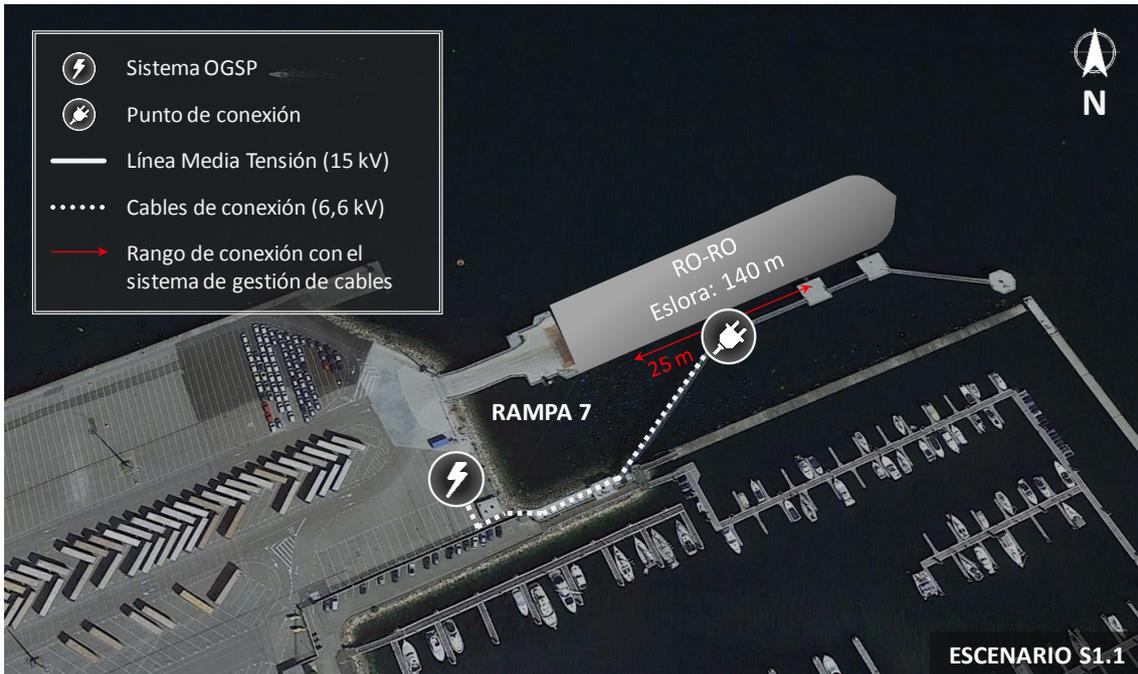


Figura 25. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.1.

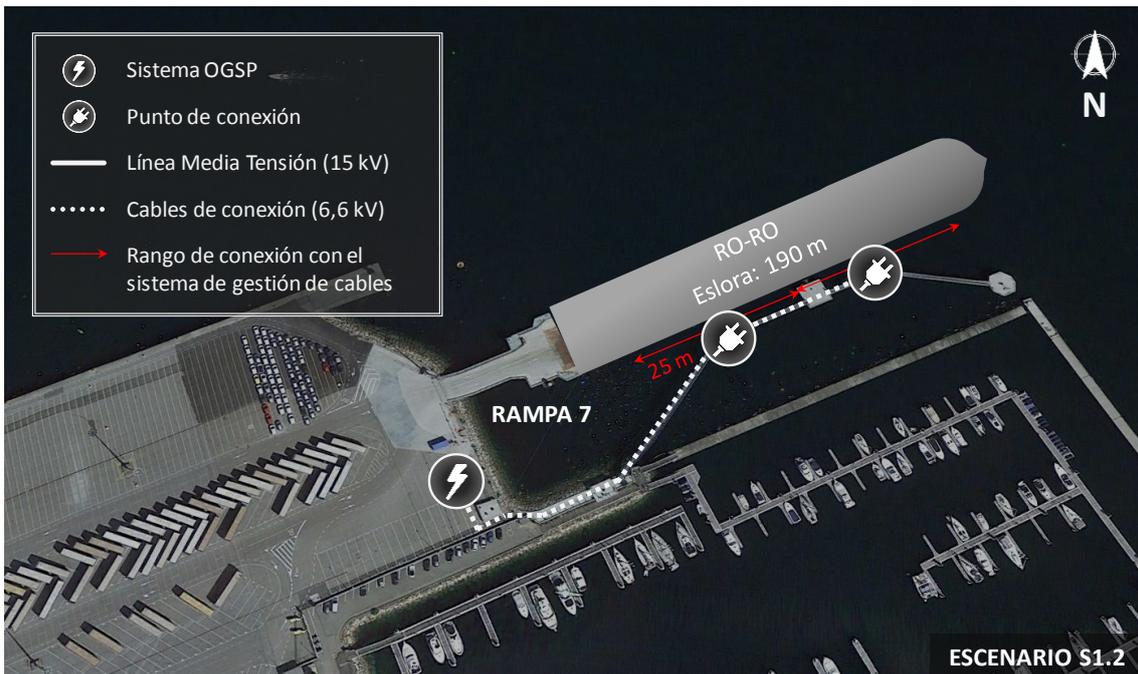


Figura 26. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S1.2.

Escenario S2

Tabla 19. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S2.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S2	
Ubicación de la instalación	Rampa 5, Rampa 7
Simultaneidad de suministro	2
Puntos de conexión	2-4
Potencia del generador (kWe)	2.507
Potencia del generador (kVA)	3.134
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija

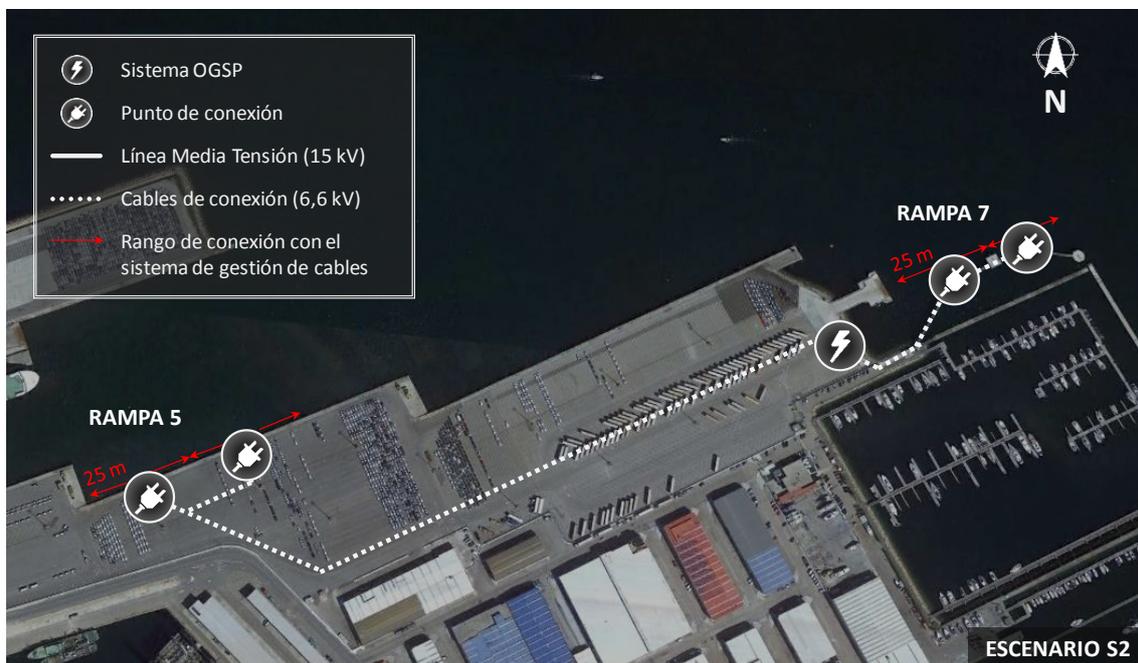


Figura 27. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S2.

Escenario S3

Tabla 20. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S3.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S3	
Ubicación de la instalación	Rampa 5, Rampa 6, Rampa 7
Simultaneidad de suministro	3
Puntos de conexión	3-6
Potencia del generador (kWe)	3.552
Potencia del generador (kVA)	4.440
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija



Figura 28. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S3.

Escenario S4

Tabla 21. Resumen de la solución recomendada para OPS en el Escenario S4.

SISTEMA OPS – ESCENARIO S4	
Ubicación de la instalación	Todas las Rampas
Simultaneidad de suministro	4
Puntos de conexión	6-12
Potencia del generador (kWe)	4.160
Potencia del generador (kVA)	5.200
Voltaje de suministro (kV)	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50/60
Sistema de gestión de cables	Grúa fija



Figura 29. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro, Escenario S4.

5.4.3. Posibilidades de futuro

La Autoridad Portuaria de Vigo ha facilitado un estudio preliminar realizado por Nedgia (Grupo Naturgy), donde se valora la posibilidad de implementar una solución de generación combinada de electricidad y calor, a partir de gas natural procedente directamente de gasoducto.

Este estudio está orientado a buques de líneas regulares de Ro-Ro, pesqueros y ferries que hacen sus rutas al Parque Nacional de las Islas Atlánticas. Asimismo, se contempla la demanda energética de frigoríficos de industria conservera, así como de contenedores refrigerados, ya que suponen una elevada demanda energética de frío industrial en el puerto pesquero y en el muelle de contenedores, respectivamente.

Se propone la instalación de una planta GasCube (Figura 30), considerando dos posibles escenarios:

- Escenario 1: Disponibilidad 2 conexiones simultáneas, planta GasCube 4,4 MW.
- Escenario 2: Disponibilidad 3 conexiones simultáneas, planta GasCube 7,7 MW.

Según este estudio, las inversiones en ambos escenarios presentan una alta rentabilidad, si bien cabe destacar que el único beneficio para la Autoridad Portuaria al que se hace referencia es de carácter social (reducción de emisiones).



Figura 30. Planta GasCube. Fuente: Wärtsilä.

A continuación, se presenta en la Figura 31 la red de distribución de gas natural en el área del Puerto de Vigo. Asimismo, en la Figura 32 se puede ver la ubicación de la solución propuesta.

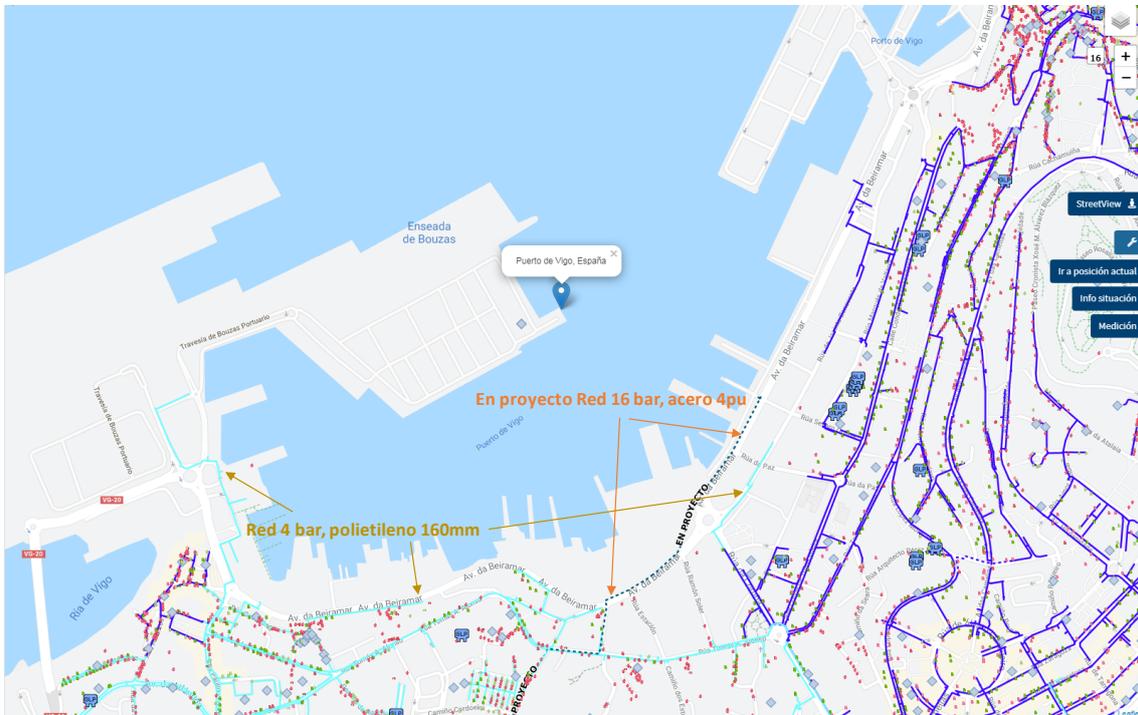


Figura 31. Red de distribución de gas natural (gasoducto) en el Puerto de Vigo. Fuente: Nedgia.

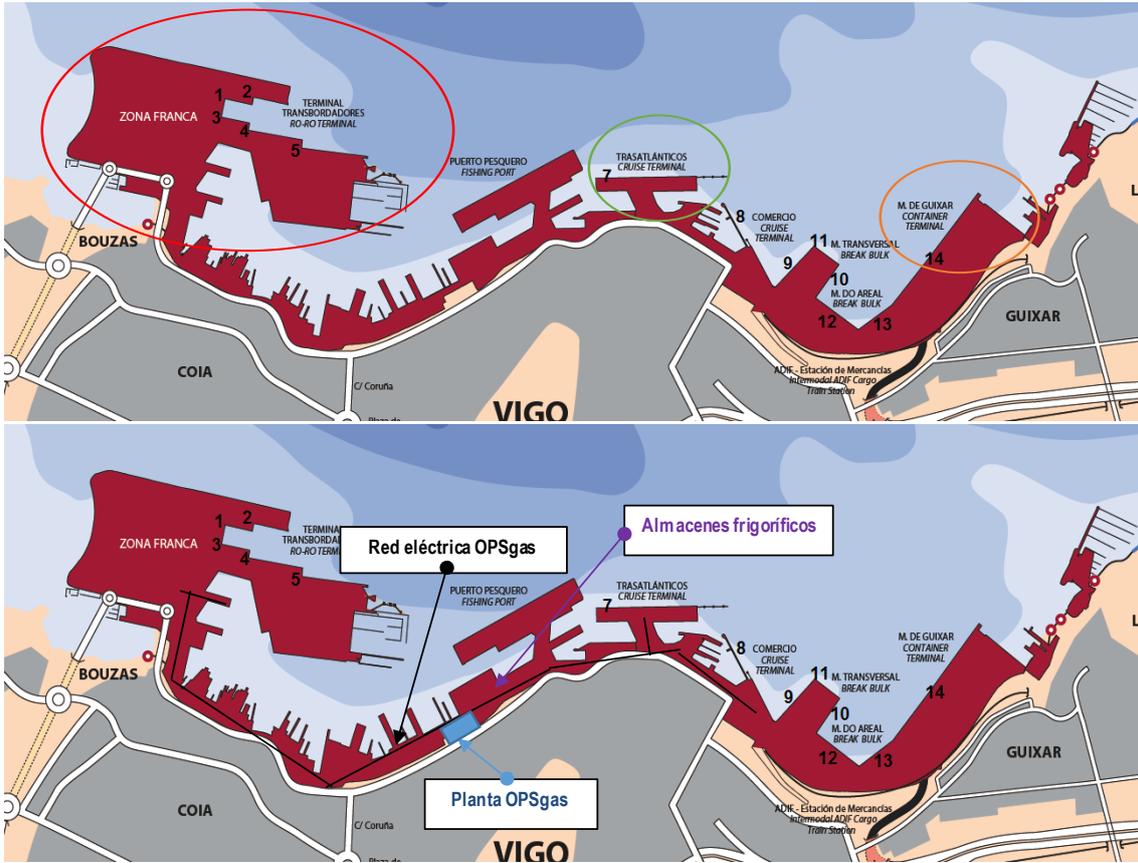


Figura 32. Terminales propuestas para la instalación de puntos de conexión y ubicación de la planta en el Puerto de Pescadores. Fuente: Nedgia.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se presenta el análisis de costes que supondría la instalación de un sistema para el suministro de electricidad a buques (OPS u OGSP), comparándolo con la alternativa actual de utilización de los motores auxiliares con MGO. A continuación, se resumen los costes asociados a estos sistemas en función de los diferentes escenarios considerados.

Tabla 22. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.1.

ESCENARIO S1.1	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	3.127.070,97	1.527.760,24
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	680.654,97	1.527.760,24
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	-	-
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	-	-
Instalaciones portuarias (€)	-	-	-
Gastos anuales (€/año)	665.036,96	489.976,71	336.951,16
Coste combustible (€/año)	205.076,62	259.996,54	106.970,99
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	459.960,34	229.980,17	229.980,17

Tabla 23. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.2.

ESCENARIO S1.2	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	3.653.815,26	1.899.036,32
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	1.207.399,26	1.899.036,32
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	3.810.239,14	2.055.460,20
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	1.363.823,14	2.055.460,20
Gastos anuales (€/año)	1.912.234,99	1.155.517,93	961.912,90
Coste combustible (€/año)	259.702,97	329.251,92	135.464,89
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Tabla 24. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S2.

ESCENARIO S2	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	4.537.737,05	2.435.696,34
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	2.091.321,05	2.435.696,34
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	4.849.905,34	2.747.864,63
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	2.403.489,34	2.747.864,63
Gastos anuales (€/año)	2.189.126,25	939.612,56	1.047.038,23
Coste combustible (€/año)	536.594,23	113.346,55	220.772,22
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Tabla 25. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S3.

ESCENARIO S3	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	5.240.172,97	2.852.414,80
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	2.793.756,97	2.852.414,80
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	5.689.966,47	3.302.208,30
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	3.243.550,47	3.302.208,30
Gastos anuales (€/año)	2.119.087,75	1.417.766,26	1.069.628,35
Coste combustible (€/año)	466.555,73	591.500,25	243.362,34
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Tabla 26. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S4.

ESCENARIO S4	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	6.146.725,74	3.599.921,15
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	3.700.309,74	3.599.921,15
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	7.019.586,92	4.472.782,33
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	4.573.170,92	4.472.782,33
Gastos anuales (€/año)	2.120.293,46	1.419.294,87	1.070.257,26
Coste combustible (€/año)	467.761,44	593.028,86	243.991,25
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

A continuación, se desglosa cada una de las partidas incluidas en las tablas anteriores.

6.1. Inversión

A continuación, se presenta la inversión necesaria para llevar a cabo la instalación de un sistema de suministro eléctrico a Ro-Ro en el Puerto de Vigo, para cada una de las alternativas consideradas (OPS y OGSP) y teniendo en cuenta los diferentes Escenarios de demanda contemplados.

Inversión necesaria para la ampliación de la red eléctrica

En este apartado se incluyen los costes asociados a la acometida a la red eléctrica desde la Subestación de Balaídos hasta las instalaciones portuarias (ver apartado 5.3.1). Este coste únicamente es aplicable a la alternativa OPS. Según lo acordado con la Autoridad Portuaria de Vigo, no se solicita un presupuesto a la compañía distribuidora. En su lugar, se presenta en la Tabla 27 un presupuesto aproximado estimado a partir de los datos obtenidos en un proyecto similar.

Tabla 27. Inversión inicial necesaria para la ampliación de la red eléctrica (sistema OPS).

INVERSIÓN AMPLIACIÓN DE POTENCIA – ALTERNATIVA OPS			
Ítem ³	Precio unitario	Cantidad	Importe (€)
Canalización M.T. 50 Hz	424,24 €/m	3.600 m	1.527.264,00
Cableado 12/20 kV	255,32 €/m	3.600 m	919.152,00
TOTAL AMPLIACIÓN DE RED			2.446.416,00 €

Inversión en instalaciones portuarias

A continuación, se incluye para cada escenario el coste estimado de los principales equipos necesarios para las dos alternativas contempladas (OPS y OGSP), así como el sistema de gestión de cables y los puntos de conexión (caja de conexiones y cableado asociado). Estos costes han sido estimados en base a un presupuesto preliminar recibido por parte de un fabricante, y de datos obtenidos de proyectos similares.

Escenario S1.1

Tabla 28. Inversión estimada en equipos para el Escenario S1.1.

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S1.1					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Alternativa OPS		480.494,99		-	
Centro Transformación 15/0,4 kV	419.104,37 €/ud	1	419.104,37	-	-
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	0	0,00	-	-
Sistema de control	17.709,26 €/ud	1	17.709,26	-	-
Obra Civil OPS ⁴	10%	43.681,36		-	
Alternativa OGSP		1.327.600,26		-	
Sist. contenerizado de generación eléctrica	580.483,47 €/ud	1	580.483,47	-	-
Sist. Contenerizado de almacenamiento GNL	545.000,00 €/ud	1	545.000,00	-	-
Battery Pack (opcional)	81.425,85 €/ud	1	81.425,86	-	-
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	0	0,00	-	-
Obra Civil OGSP ⁵	10%	120.690,93		-	
Equipos comunes		200.159,98		-	
Sist. gestión de cables	139.050,00 €/ud	1	139.050,00	-	-

³ Los costes reflejados incluyen el importe de los trabajos de obra civil asociados.

⁴ Para la alternativa OPS, se estima inicialmente el coste de los trabajos de obra oivil como el 10% del coste total de los equipos eléctricos.

⁵ Para la alternativa OGSP, se estima inicialmente el coste de los trabajos de obra oivil como el 10% del coste total de los equipos.

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S1.1					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Cajas de conexión	1.066,60 €/ud	1	1.066,60	-	-
Canalización B.T. 50 Hz	349,07 €/m	158	55.153,06	-	-
Cableado 0,6/1 kV	8,04 €/m	158	1.270,32	-	-
Puesta a tierra	3.620,59 €/ud	1	3.620,00	-	-
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OPS		680.654,97		-	
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OGSP		1.527.760,24		-	

Escenario S1.2

Tabla 29. Inversión en equipos estimada para el Escenario S1.2.

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S1.2					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Alternativa OPS		1.027.876,65		1.027.876,65	
Centro Transformación 15/6,6 kV	639.902,65 €/ud	1	639.902,65	1	639.902,65
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Sistema de control	17.709,26 €/ud	1	17.709,26	1	17.709,26
Obra Civil OPS	10%	93.443,33		93.443,33	
Alternativa OGSP		1.719.513,71		1.719.513,71	
Sist. contenerizado de generación eléctrica	619.234,09 €/ud	1	619.234,09	1	619.234,09
Sist. Contenerizado de almacenamiento GNL	545.000,00 €/ud	1	545.000,00	1	545.000,00
Battery Pack (opcional)	122.138,79 €/ud	1	122.138,79	1	122.138,79
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Obra Civil OGSP	10%	156.319,43		156.319,43	
Equipos comunes		179.522,62		335.946,49	
Sist. gestión de cables	139.050,00 €/ud	1	139.050,00	2	278.100,00
Cajas de conexión	1.066,60 €/ud	1	1.066,60	2	2.133,20
Canalización M.T. 50/60 Hz	212,74 €/m	158	33.612,92	230	48.930,20
Cableado 6/10 kV	13,75 €/m	158	2.172,50	230	3.162,50
Puesta a tierra	3.620,59 €/ud	1	3.620,59	1	3.620,59
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OPS		1.207.399,26		1.363.823,14	
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OGSP		1.899.036,32		2.055.460,20	

Escenario S2

Tabla 30. Inversión en equipos estimada para el Escenario S2.

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S2					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Alternativa OPS		1.616.309,70		1.616.309,70	
Centro Transformación 15/6,6 kV	1.174.841,78 €/ud	1	1.174.841,78	1	1.174.841,78
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Sistema de control	17.709,26 €/ud	1	17.709,26	1	17.709,26
Obra Civil OPS	10%	146.937,25		146.937,25	
Alternativa OGSP		1.960.684,99		1.960.684,99	
Sist. contenerizado de generación eléctrica	724.426,88 €/ud	1	724.426,88	1	724.426,88
Sist. Contenerizado de almacenamiento GNL	559.533,33 €/ud	1	559.533,33	1	559.533,33
Battery Pack (opcional)	221.659,28 €/ud	1	221.659,28	1	221.659,28
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Obra Civil OGSP	10%	178.244,09		178.244,09	
Equipos comunes		475.011,35		787.179,64	
Sist. gestión de cables	139.050,00 €/ud	2	278.100,00	4	556.200,00
Cajas de conexión	1.066,60 €/ud	2	2.133,20	4	4.266,40
Canalización M.T. 50/60 Hz	212,74 €/m	844	179.552,56	985	209.548,90
Cableado 6/10 kV	13,75 €/m	844	11.605,00	985	13.543,75
Puesta a tierra	3.620,59 €/ud	1	3.620,59	1	3.620,59
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OPS		2.091.321,05		2.403.489,34	
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OGSP		2.435.696,34		2.747.864,63	

Escenario S3

Tabla 31. Inversión en equipos estimada para el Escenario S3.

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S3					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Alternativa OPS		2.154.847,57		2.154.847,57	
Centro Transformación 15/6,6 kV	1.664.421,67 €/ud	1	1.664.421,67	1	1.664.421,67
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S3					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Sistema de control	17.709,26 €/ud	1	17.709,26	1	17.709,26
Obra Civil OPS	10%	195.895,23		195.895,23	
Alternativa OGSP		2.213.505,40		2.213.505,40	
Sist. contenerizado de generación eléctrica	836.168,10 €/ud	1	836.168,10	1	836.168,10
Sist. Contenerizado de almacenamiento GNL	589.417,50 €/ud	1	589.417,50	1	589.417,50
Battery Pack (opcional)	309.870,62 €/ud	1	309.870,62	1	309.870,62
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Obra Civil OGSP	10%	201.227,40		201.227,40	
Equipos comunes		638.909,40		1.088.702,90	
Sist. gestión de cables	139.050,00 €/ud	3	417.150,00	6	834.300,00
Cajas de conexión	1.066,60 €/ud	3	3.199,80	6	6.399,60
Canalización M.T. 50/60 Hz	212,74 €/m	949	201.890,26	1.079	229.546,46
Cableado 6/10 kV	13,75 €/m	949	13.048,75	1079	14.836,25
Puesta a tierra	3.620,59 €/ud	1	3.620,59	1	3.620,59
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OPS		2.793.756,97		3.243.550,47	
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OGSP		2.852.414,80		3.302.208,30	

Escenario S4

Tabla 32. Inversión en equipos estimada para el Escenario S4.

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S4					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Alternativa OPS		2.468.238,67		2.468.238,67	
Centro Transformación 15/6,6 kV	1.949.322,67 €/ud	1	1.949.322,67	1	1.949.322,67
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Sistema de control	17.709,26 €/ud	1	17.709,26	1	17.709,26
Obra Civil OPS	10%	224.385,33		224.385,33	
Alternativa OGSP		2.367.850,08		2.367.850,08	
Sist. contenerizado de generación eléctrica	909.008,62 €/ud	1	909.008,62	1	909.008,62
Sist. Contenerizado de almacenamiento GNL	604.868,25 €/ud	1	604.868,25	1	604.868,25
Battery Pack (opcional)	361.892,70 €/ud	1	361.892,70	1	361.892,70

INVERSIÓN EQUIPOS ESCENARIO S4					
Ítem	Precio unitario	1 Punto de conexión por rampa		2 Puntos de conexión por rampa	
		Cantidad	Importe (€)	Cantidad	Importe (€)
Convertidor de frecuencia 50/60 Hz	276.821,41 €/ud	1	276.821,41	1	276.821,41
Obra Civil OGSP	10%	215.259,10		215.259,10	
Equipos comunes		1.232.071,07		2.104.932,25	
Sist. gestión de cables	139.050,00 €/ud	6	834.300,00	12	1.668.600,00
Cajas de conexión	1.066,60 €/ud	6	6.399,60	12	12.799,20
Canalización M.T. 50/60 Hz	212,74 €/m	1.712	364.210,88	1.854	394.419,96
Cableado 6/10 kV	13,75 €/m	1.712	23.540,00	1.854	25.492,50
Puesta a tierra	3.620,59 €/ud	1	3.620,59	1	3.620,59
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OPS		3.700.309,74		4.573.170,92	
TOTAL INVERSIÓN EQUIPOS OGSP		3.599.921,15		4.472.782,33	

6.2. Coste del suministro de energía

Teniendo en cuenta el consumo anual estimado en el apartado 4, se ha obtenido el coste de la energía necesaria para el suministro de electricidad a Ro-Ro en el Puerto de Vigo.

Para el caso del sistema OPS, se ha obtenido el valor del precio eléctrico medio en base a la información aportada por una comercializadora para un proyecto similar de OPS a Ro-Ro. 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].

Por otra parte, para la estimación del importe asociado al suministro de GNL para la generación de electricidad en el caso del sistema OGSP, se han considerado los criterios recogidos en la *Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos*, así como lo dispuesto en el *Real Decreto 949/2002, de 3 de agosto, por el que se regula el acceso de terceros a las instalaciones gasistas y se establece un sistema económico integrado del sector de gas natural y las órdenes de desarrollo*. En la Tabla 33 se resume el cálculo del coste de suministro de GNL.

Tabla 33. Estimación del coste de suministro de GNL para el caso del sistema OGSP. Fuente: Reganosa.

COSTE SUMINISTRO GNL	
Precio GNL (€/MWh) ⁶	12,75
Impuesto de hidrocarburos (€/MWh)	4,14
Peajes (€/MWh)	1,30

⁶ Para el GNL, se ha considerado el precio obtenido de www.mibgas.es (consultado el 19/09/2019).

COSTE SUMINISTRO GNL	
Transporte por carretera ⁷ (€/MWh)	1,50
Coste total suministro GNL (€/MWh)	19,69

Cabe destacar que el coste indicado en la Tabla 33 anterior se ha calculado teniendo en cuenta que el GNL es suministrado directamente desde la Terminal de Mugaros⁸ hasta el depósito de almacenamiento del sistema OGSP ubicado en el puerto, utilizando para ello camiones cisterna. No obstante, la Autoridad Portuaria de Vigo contempla la construcción de una terminal *small scale* en el puerto para el suministro de GNL como combustible tanto marino como terrestre (ver Anexo V). En caso de que se construya esta terminal, el coste de suministro de GNL se vería reducido debido a la reducción de los costes de peaje y transporte, estimándose un rango de entre 5,46 – 11,80 €/MWh en función de la configuración final de la cadena logística [15].

A continuación, se incluye la comparativa de los costes de combustible asociados a cada uno de los sistemas considerados (uso de MGO, OPS y OGSP), para cada uno de los escenarios de demanda contemplados en el estudio.

Tabla 34. Comparativa de los costes de combustible entre el sistema actual y el sistema OPS/OGSP.

	MGO	OPS	OGSP
Coste combustible (c€/kWh) ⁹	4,550	12,594	1,969
Escenario S1.1			
Consumo anual (kWh/año)	4.506.689,27	2.064.447,67	5.432.757,03
Coste total combustible (€/año)	205.076,62	259.996,54	106.970,99
Escenario S1.2			
Consumo anual (kWh/año)	5.707.137,92	2.614.355,44	6.879.882,73
Coste total combustible (€/año)	259.702,97	329.251,92	135.464,89
Escenario S2			
Consumo anual (kWh/año)	9.301.137,16	5.040.423,85	11.212.403,45
Coste total combustible (€/año)	536.594,23	113.346,55	220.772,22
Escenario S3			
Consumo anual (kWh/año)	10.252.858,93	4.696.682,97	12.359.692,03
Coste total combustible (€/año)	466.555,73	591.500,25	243.362,34
Escenario S4			
Consumo anual (kWh/año)	10.279.355,23	4.708.820,54	12.391.632,99
Coste total combustible (€/año)	467.761,44	593.028,86	243.991,25

⁷ Se considera el transporte en camión cisterna desde la terminal de regasificación de Mugaros hasta el Puerto de Vigo.

⁸ Se considera que el suministro de GNL se llevaría a cabo desde la Terminal de Regasificación de Mugaros por ser la más cercana al Puerto de Vigo.

⁹ 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).

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 35.

Tabla 35. Supuestos para el cálculo de la tasa T-1.

SUPUESTOS PARA EL CÁLCULO DE LA TASA T-1		
	Escenario S1.1	Resto de Escenarios
Información del puerto		
Puerto	Vigo	
Información del buque		
Tipo de buque	RoRo (Regular)	
GT (promedio 2018)	15.793	32.903
Nº de escalas anuales (total 2018)	155	373
Régimen de atraque y estancia		
Duración de la estancia (promedio 2018)	23,7	17
Atraque en concesión	No	
Tipo de atraque	Atraque de costado	

Uno de los impactos económicos de la implementación del sistema de suministro eléctrico (OPS u OGSP) es la bonificación del 50% en la tasa T-1¹⁰. Esta tasa grava la estancia de los buques en puerto, aplicándose el citado descuento 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.

A continuación, se presenta en la Tabla 36 la estimación de los costes totales asociados a la aplicación de la bonificación en la tasa T-1 a los Ro-Ro conectados al nuevo sistema OPS/OGSP.

Tabla 36. Bonificación de la Tasa T-1 de los buques con el nuevo sistema OPS/OGSP.

	MGO	OPS/OGSP
Bonificación de la Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01
% Bonificación	0,0%	50,0%
Costes totales Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01
Diferencial (€/año)	826.266,01	

¹⁰ 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 de suministro eléctrico a buques en la Terminal de Ro-Ro, y de la cual se beneficiaría especialmente la población cercana al Puerto de Vigo (Figura 33).

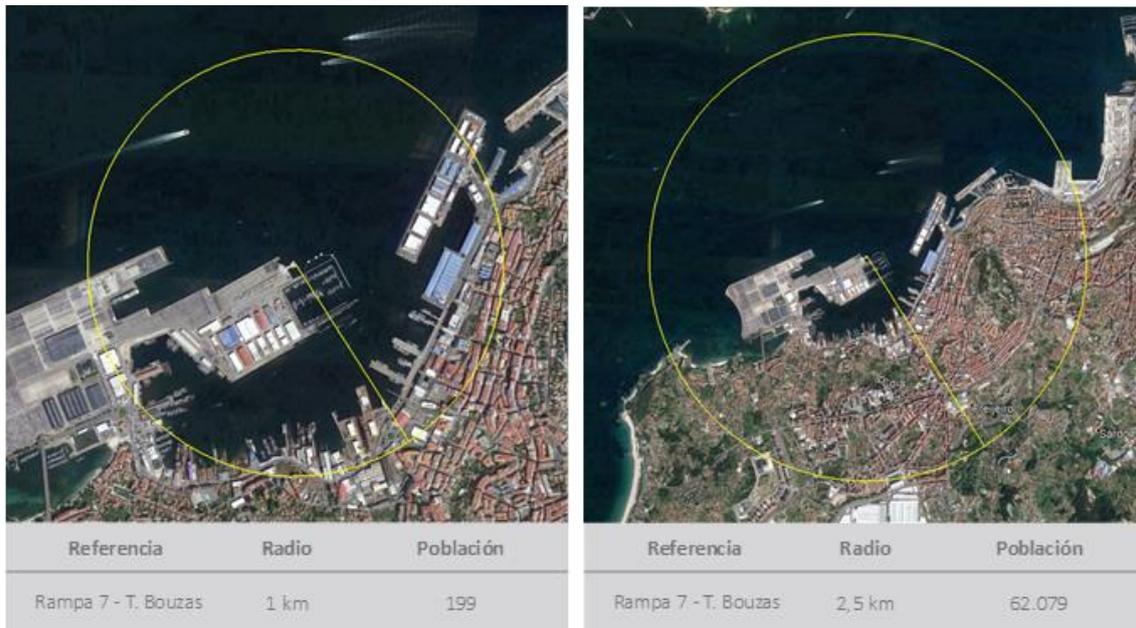


Figura 33. Rangos de afectación de la población según la distancia a la Terminal de Ro-Ro (ver Anexo IV).

En el Anexo IV, se incluyen mapas adicionales con diferentes rangos de afectación a la población, tomando como punto de referencia la Terminal de Ro-Ro del Puerto de Vigo.

7.1. Reducción de emisiones

En el presente apartado, se cuantifica el impacto ambiental que supondría la sustitución de los motores auxiliares por la utilización del nuevo sistema de suministro eléctrico a buques durante su estancia en puerto. Teniendo en cuenta la demanda energética anual de los Ro-Ro calculada en el apartado 4, a continuación se resume la reducción de las emisiones (CO₂, NO_x, SO_x, PM₁₀, PM_{2.5}) que se lograría en cada caso:

- Mediante la implantación de un sistema OPS (Figura 34).
- Mediante la implantación de un sistema OGSP (Figura 35).

Tal y como se puede observar, la implementación de un sistema OPS en el Puerto de Vigo supondría una reducción notable en las emisiones. Esto se debe fundamentalmente al alto

porcentaje de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables, así como a la mayor eficiencia de la conexión a la red eléctrica frente a la generación de electricidad a bordo con los motores auxiliares de los buques. Por otra parte, cabe destacar que la reducción en la práctica de la totalidad de emisiones en el área portuaria, ya que la electricidad suministrada a los buques se generaría en otro lugar.

En el caso de la implementación de un sistema OGSP, se lograría la eliminación casi total de las emisiones de SO_x y PM. En el caso de CO₂ y NO_x, aun resultando menor que en el caso OPS, la reducción alcanzada también sería significativa.

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

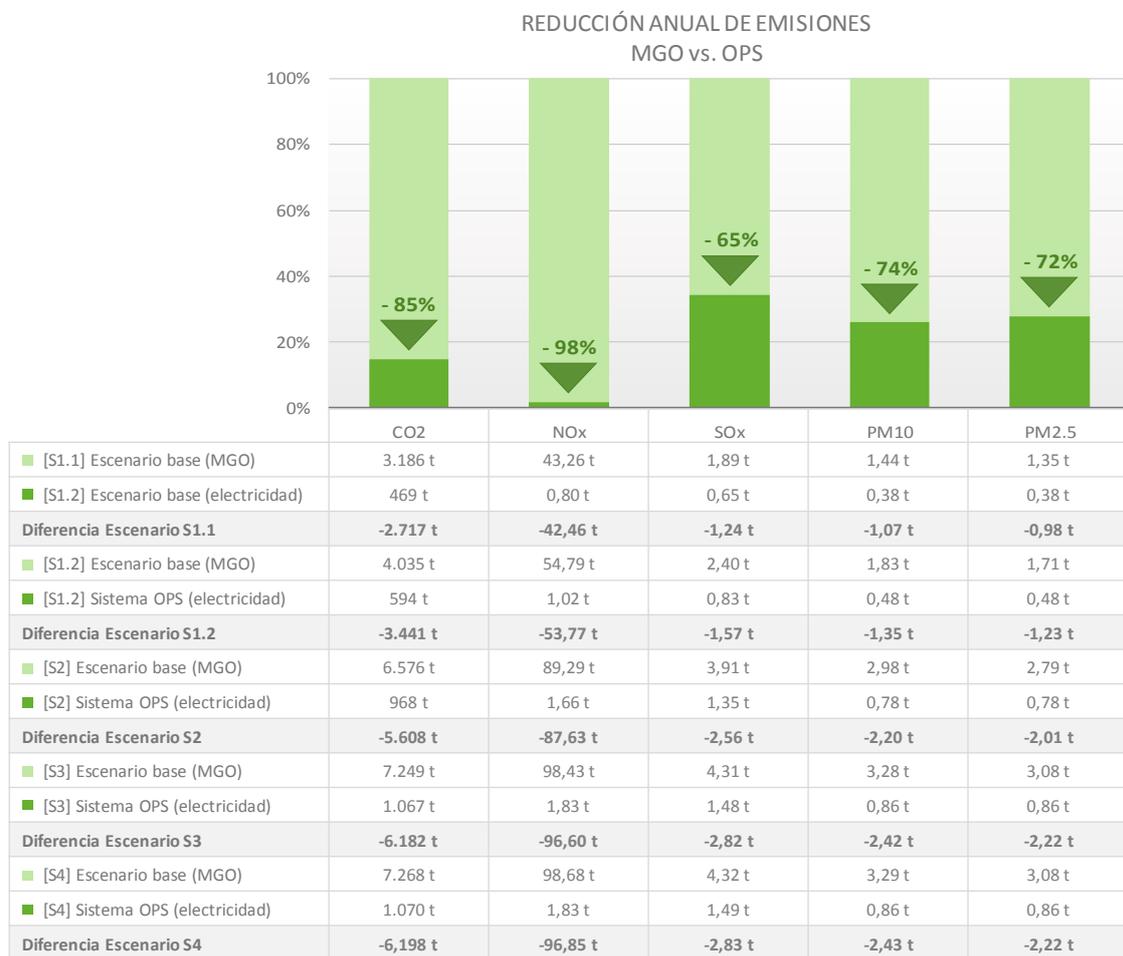


Figura 34. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.

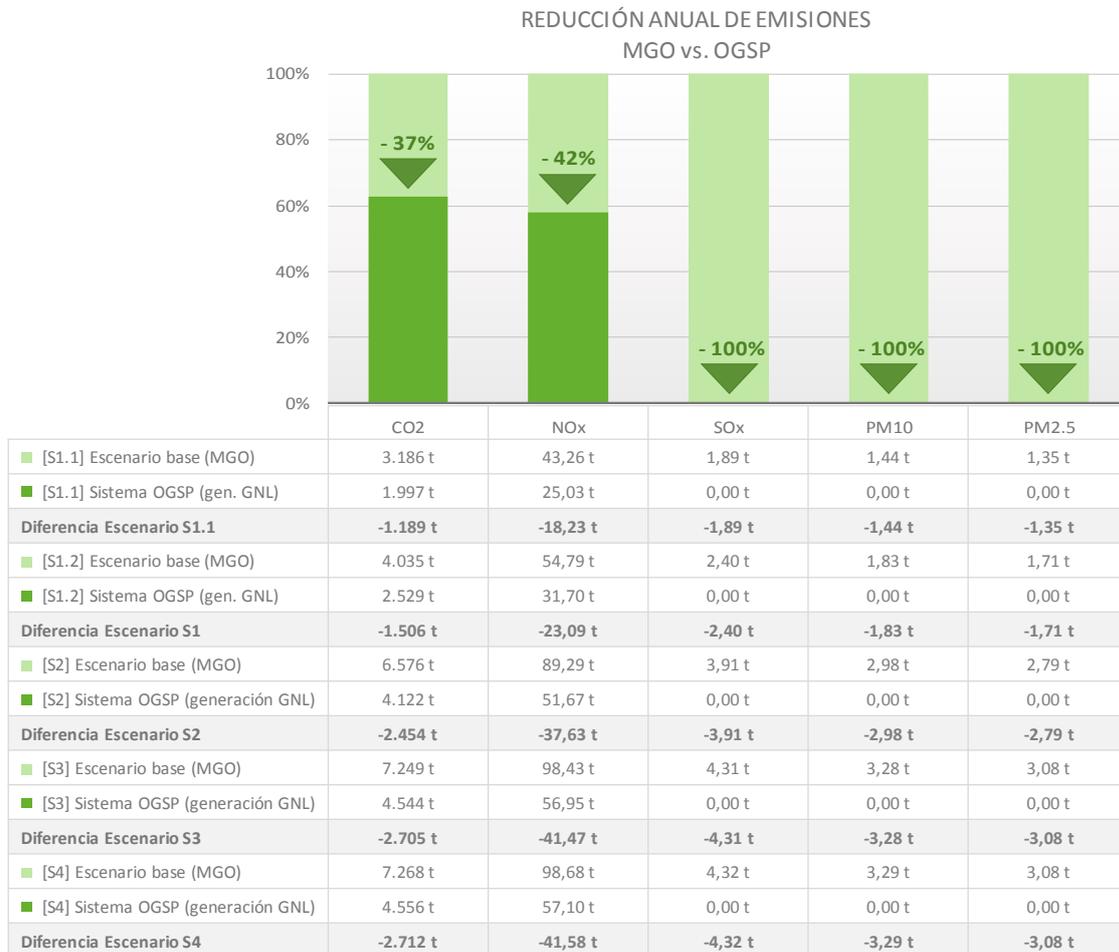


Figura 35. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OGSP.

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” [8]¹¹.

En este informe se calcula que las emisiones derivadas de los motores auxiliares y equipos de ventilación y refrigeración de los buques tipo Ro-Ro pueden llegar a alcanzar los 111 dB de potencia sonora, tal y como se puede observar en la Tabla 37.

¹¹ 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).

Tabla 37. Mediciones de potencia sonora de los motores auxiliares y equipos de ventilación de los buques Ro-Ro. Fuente: Tecnalia [8].

Tipo de buque	Niveles Potencia Sonora L_{WA} (dBA)		Reducción sonora utilizando OPS (dBA)
	Motores auxiliares + Ventilación	Ventilación (solo)	
Ro-Ro Pasajeros	115	113	1,5
Ro-Ro Carga General	111	109	2,2

En base a lo anterior, se estima que la implementación del nuevo sistema OPS en el Puerto de Vigo podría suponer una **reducción de 2,2 dB de potencia sonora**, debida a la eliminación del ruido asociado a la desactivación de los motores auxiliares durante el atraque. Sin embargo, cabe mencionar que el nuevo sistema OGSP incluye la instalación de un motor alimentado por GNL, el cual produce ruido.

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio, se ha analizado la viabilidad para la implementación de un nuevo sistema de suministro eléctrico a buques durante su estancia en la Terminal de Ro-Ro del Puerto de Vigo.

Para ello, el primer paso necesario ha sido realizar una estimación de la demanda, para lo cual se han definido los diferentes escenarios posibles que se resumen en la Tabla 38.

Tabla 38. Resumen de los diferentes Escenarios de demanda contemplados en el estudio.

ESCENARIOS DE DEMANDA			
Escenario	Ubicación	Simultaneidad	Buques
Escenario S1.1	Rampa 7	1	Suar Vigo, Bouzas
Escenario S1.2	Rampa 7	1	Buques objetivo*
Escenario S2	Rampas 5 y 7	2	Buques objetivo*
Escenario S3	Rampas 5, 6 y 7	3	Buques objetivo*
Escenario S4	Todas	4	Buques objetivo*

* Buques objetivo: Ro-Ro que presentan 10 o más atraques al año y que suman más de 100 horas anuales en puerto, con una estancia media mínima de 8,5 horas.

Para cada uno de estos escenarios, se ha estimado la demanda que se indica en la Tabla 39.

Tabla 39. Demanda anual de Ro-Ro en el Puerto de Vigo, para los diferentes escenarios considerados.

DEMANDA ELÉCTRICA DE RO-RO OBJETIVO EN EL PUERTO DE VIGO					
Escenario	S1.1	S1.2	S2	S3	S4
% Demanda Ro-Ro objetivo	43,8%	55,5%	90,5%	99,7%	100,0%
Demanda media anual (kWh)	2.064.448	2.614.355	4.260.713	4.696.683	4.708.821
Potencia media requerida (kW)	573	875	1.607	2.277	2.667
Potencia media requerida (kVA)	717	1.094	2.009	2.846	3.333
Potencia máx. requerida (kW)	745	1.138	2.089	2.960	3.467
Potencia máx. requerida (kVA)	932	1.422	2.612	3.700	4.333

En base a esta demanda, se han definido las principales especificaciones para el suministro eléctrico a buques, las cuales se resumen en la Tabla 40.

Tabla 40. Requisitos técnicos del suministro eléctrico a buques en la Terminal de Ro-Ro.

REQUISITOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO A RO-RO					
Escenario	S1.1*	S1.2	S2	S3	S4
Simultaneidad de suministro	1	1	2	3	4
Ubicación (Rampas)	7	7	5 y 7	5, 6 y 7	Todas
Puntos de conexión	1	1-2	2-4	3-6	6-12
Potencia instalada necesaria (kW)	894	1.365	2.507	3.552	4.160
Potencia instalada necesaria (kVA)	1.118	1.707	3.134	4.440	5.200
Voltaje de suministro (kV)	0,4	6,6	6,6	6,6	6,6
Frecuencia de suministro (Hz)	50	50/60	50/60	50/60	50/60
Sist. de gestión de cables	Grúa fija				

En cuanto a las posibles soluciones técnicas para llevar a cabo el suministro, se han valorado dos posibles alternativas:

- **OPS (Onshore Power Supply):** Esta técnica consiste en la conexión a la red general eléctrica de los buques atracados en el puerto.

- **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, ya que el suministro eléctrico a los buques se produce de forma autosuficiente.

En el caso de la solución OPS, sería necesario realizar una ampliación de la red eléctrica hasta el puerto. En concreto, se prevé que sería necesario llevar una línea de Media Tensión (15 kV) desde la Subestación de Balaídos hasta el nuevo Centro de Transformación de la Terminal de Ro-Ro, tal y como se muestra de forma orientativa en la Figura 36.

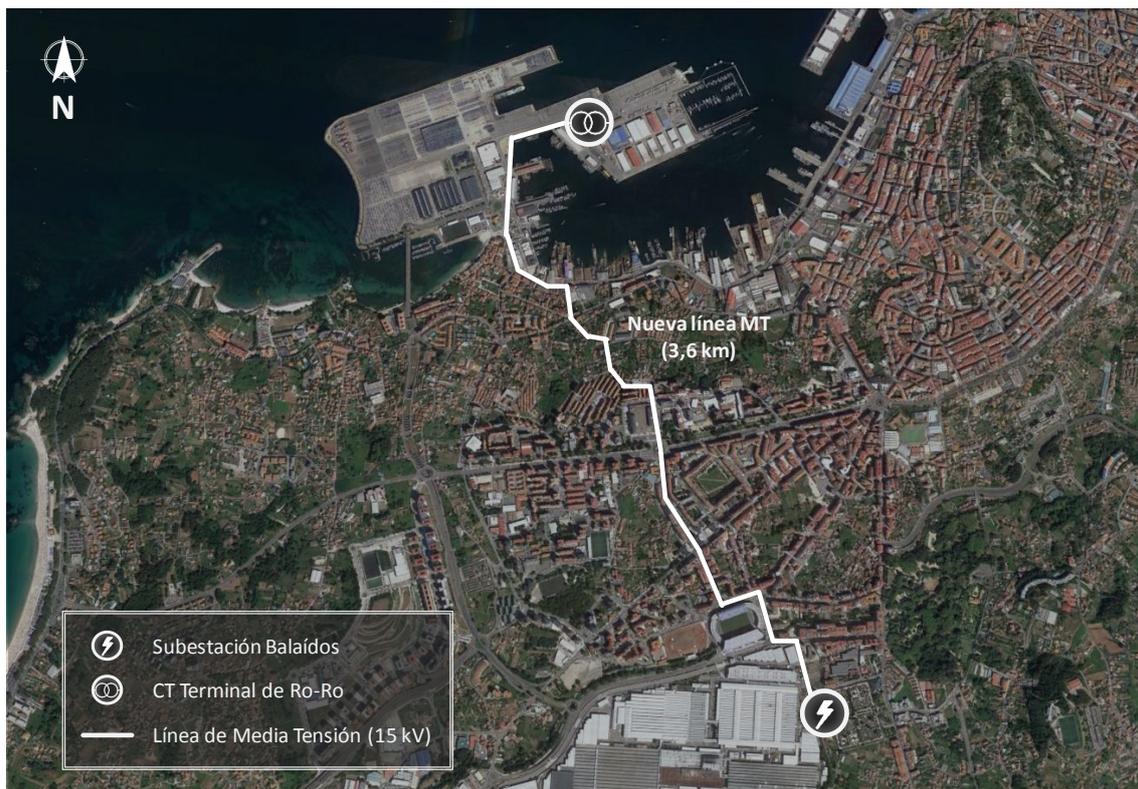


Figura 36. Esquema orientativo de la acometida a la red eléctrica.

La configuración del sistema OPS resultante se presenta a continuación en la Figura 37, donde se señalan con diferentes colores las rampas que se consideran en los diferentes escenarios propuestos.

De forma análoga, en la Figura 38 se presenta la configuración propuesta para la implementación del sistema OGSP para cada uno de los escenarios considerados.

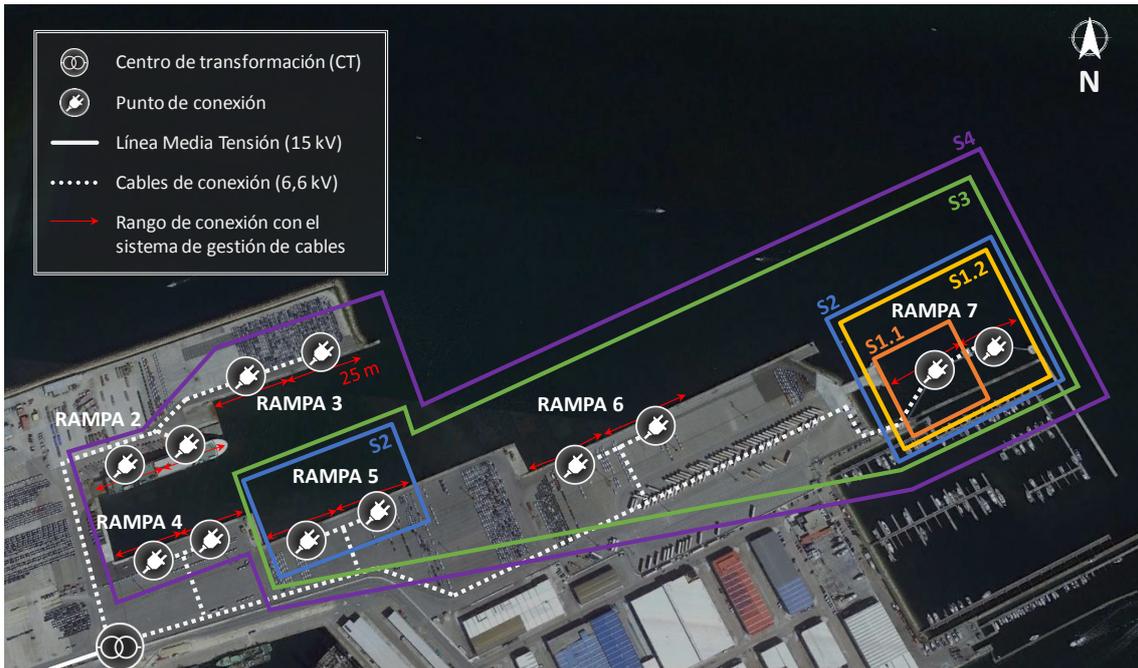


Figura 37. Esquema de la configuración del sistema OPS en la Terminal de Ro-Ro.

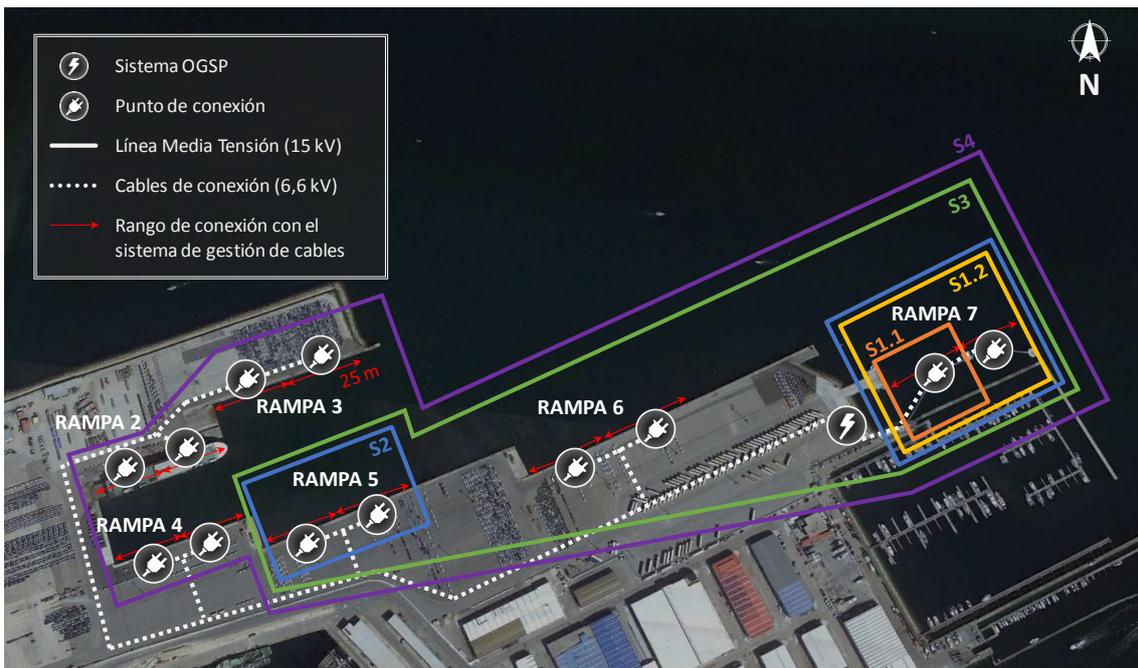


Figura 38. Esquema de la configuración del sistema OGSP en la Terminal de Ro-Ro.

En cuanto a los costes asociados a la implementación del nuevo sistema de suministro eléctrico a Ro-Ro, 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/OGSP).

Tabla 41. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.1.

ESCENARIO S1.1	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	3.127.070,97	1.527.760,24
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	680.654,97	1.527.760,24
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	-	-
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	-	-
Instalaciones portuarias (€)	-	-	-
Gastos anuales (€/año)	665.036,96	489.976,71	336.951,16
Coste combustible (€/año)	205.076,62	259.996,54	106.970,99
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	459.960,34	229.980,17	229.980,17

Tabla 42. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S1.2.

ESCENARIO S1.2	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	3.653.815,26	1.899.036,32
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	1.207.399,26	1.899.036,32
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	3.810.239,14	2.055.460,20
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	1.363.823,14	2.055.460,20
Gastos anuales (€/año)	1.912.234,99	1.155.517,93	961.912,90
Coste combustible (€/año)	259.702,97	329.251,92	135.464,89
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Tabla 43. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S2.

ESCENARIO S2	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	4.537.737,05	2.435.696,34
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	2.091.321,05	2.435.696,34
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	4.849.905,34	2.747.864,63
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	2.403.489,34	2.747.864,63
Gastos anuales (€/año)	2.189.126,25	939.612,56	1.047.038,23
Coste combustible (€/año)	536.594,23	113.346,55	220.772,22
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Tabla 44. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S3.

ESCENARIO S3	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	5.240.172,97	2.852.414,80
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	2.793.756,97	2.852.414,80
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	5.689.966,47	3.302.208,30
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	3.243.550,47	3.302.208,30
Gastos anuales (€/año)	2.119.087,75	1.417.766,26	1.069.628,35
Coste combustible (€/año)	466.555,73	591.500,25	243.362,34
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Tabla 45. Comparativa económica entre MGO y el sistema OPS/OGSP, para el Escenario S4.

ESCENARIO S4	MGO	OPS	OGSP
Inversión inicial, 1 punto de conexión por rampa equipada (€)	-	6.146.725,74	3.599.921,15
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	3.700.309,74	3.599.921,15
Inversión inicial, 2 puntos de conexión por rampa equipada (€)	-	7.019.586,92	4.472.782,33
Ampliación de la red eléctrica (€)	-	2.446.416,00	-
Instalaciones portuarias (€)	-	4.573.170,92	4.472.782,33
Gastos anuales (€/año)	2.120.293,46	1.419.294,87	1.070.257,26
Coste combustible (€/año)	467.761,44	593.028,86	243.991,25
Bonificación Tasa T-1 (€/año)	1.652.532,02	826.266,01	826.266,01

Por otra parte, se ha cuantificado el impacto ambiental que supondría la sustitución de los motores auxiliares de los Ro-Ro por la utilización del nuevo sistema OPS (Figura 39) y OGSP (Figura 40) durante su estancia en puerto.

Asimismo, en la Tabla 46 y en la Tabla 47 se presenta el coste de abatimiento correspondiente a las alternativas OPS y OGSP, respectivamente.

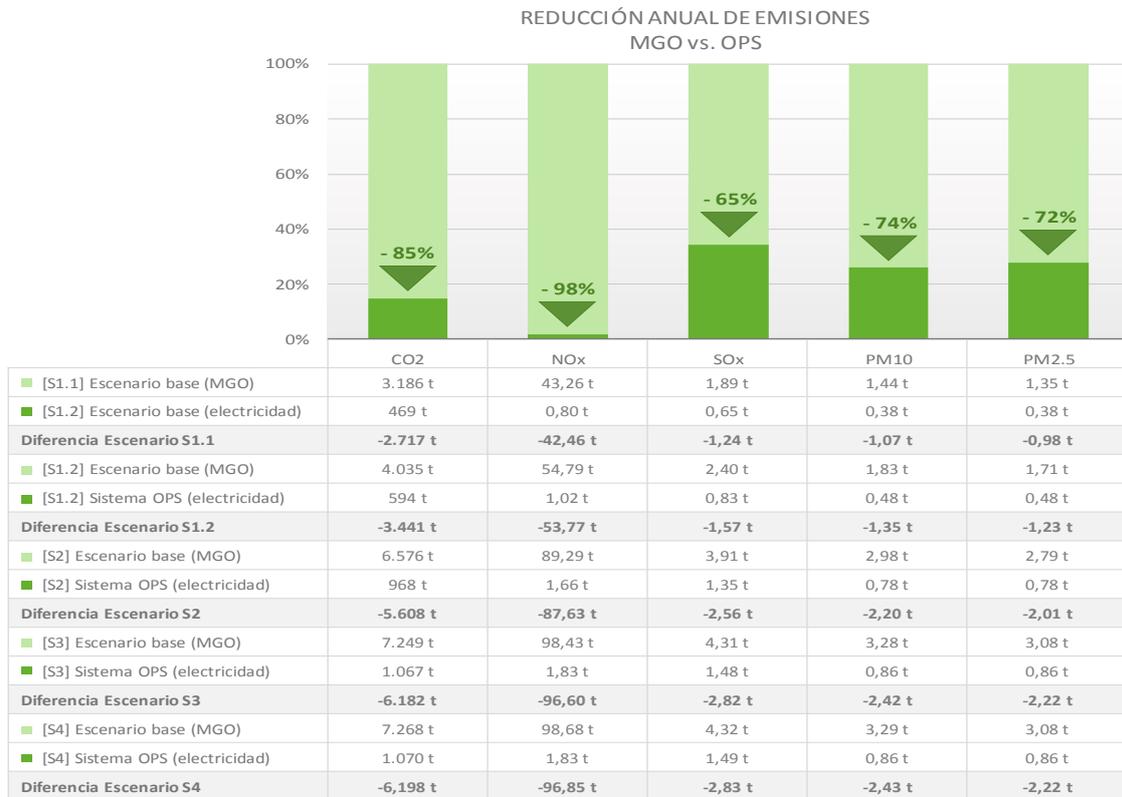


Figura 39. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OPS.



Figura 40. Resumen de la reducción anual de emisiones alcanzado por la instalación del sistema OGSP.

Tabla 46. Coste de abatimiento de la alternativa OPS.

EMISIONES TOTALES REDUCIDAS Y COSTE DE ABATIMIENTO – SISTEMA OPS			
Escenario	Emisiones totales reducidas (t/año)	Abatimiento, 1 toma por rampa (€/t)	Abatimiento, 2 tomas por rampa (€/t)
Escenario S1.1	2.763,04	1.131,75	-
Escenario S1.2	3.499,04	1.044,23	1.088,94
Escenario S2	5.702,51	850,49	918,92
Escenario S3	6.286,01	833,62	905,18
Escenario S4	6.302,26	975,32	1.113,82

Tabla 47. Coste de abatimiento de la alternativa OGSP.

EMISIONES TOTALES REDUCIDAS Y COSTE DE ABATIMIENTO – SISTEMA OGSP			
Escenario	Emisiones totales reducidas (t/año)	Abatimiento, 1 toma por rampa (€/t)	Abatimiento, 2 tomas por rampa (€/t)
Escenario S1.1	1.211,85	1.260,69	-
Escenario S1.2	1.534,65	1.237,44	1.339,37
Escenario S2	2.501,07	973,86	1.098,67
Escenario S3	2.756,99	1.034,61	1.197,76
Escenario S4	2.764,12	1.302,380	1.618,16

Finalmente, en la Tabla 48 se presenta una comparativa de las dos alternativas contempladas en el estudio para el suministro eléctrico a Ro-Ro en el Puerto de Vigo.

Tabla 48. Comparativa de alternativas OPS/OGSP.

COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS			
Aspecto	OPS	OGSP	Comentarios
Viabilidad técnica	⬆️	⬆️	Ambas alternativas son viables desde el punto de vista técnico.
Consideraciones de seguridad	⬆️	⬇️	La alternativa OGSP implica consideraciones adicionales de seguridad, debido al almacenamiento y utilización de GNL.
Interferencias con la operación portuaria	➡️	➡️	No se espera en ningún caso que existan interferencias con la operación, más allá de las que pueda ocasionar el sistema de gestión de cables.
Flexibilidad de suministro	➡️	⬆️	La alternativa OGSP permitiría poder suministrar a otras flotas, debido a la posibilidad de mover el sistema.
Necesidad de obra	⬇️	➡️	La alternativa OPS implica mayor obra en puerto (al ser instalaciones fijas), así como para la ampliación de la red necesaria.
Seguridad de suministro	⬆️	⬆️	Ambas alternativas presentan seguridad de suministro.
Madurez del sistema	⬆️⬆️	⬆️	Si bien la tecnología de ambas alternativas está lo suficientemente madura para su implementación, el sistema OPS está más extendido.
Reducción de emisiones	⬆️⬆️	⬆️	La alternativa OPS permite reducir localmente la totalidad de las emisiones. A nivel global, permite una mayor reducción de CO2. La alternativa OPS permite una mayor reducción global de emisiones nocivas (NO _x , SO _x , PM).
Inversión necesaria	⬇️	⬆️	La inversión necesaria para la implementación del sistema OPS es mayor, fundamentalmente debido a la inversión necesaria para ampliar la red.

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] 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/Reduccion-impacto-sonoro-de-buques-en-atraque-mediante-OPS_small.pdf
- [9] 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
- [10] *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

- [11] *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>
- [12] *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>
- [13] *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>
- [14] SCIBERRAS, E.A., ZAHAWI, B., ATKINSON, D.J., JUANDÓ, A. y SARASQUETE, A. Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment.* 2014. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/0963/018a3329661fa26d2e72e35b2771d5d96615.pdf>
- [15] REGANOSA SERVICIOS. *Servicios de asesoramiento para el estudio de conexiones operativas y logística para el suministro de GNL a buques y artefactos flotantes – Entregable 2. Dimensionamiento y consideraciones logísticas.* Autoridad Portuaria de Vigo, 2018.
- [16] SUARDIAZ. *Electric and thermal energy form an LNG barge. Technical analysis.* SamueLNG for a Blue Atlantic Arch, 2016.
- [17] IEC/ISO/IEEE 80005-3. *Utility connections in port – Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems – General requirements.* Geneva: International Electrotechnical Commission. 2019. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/64718.html>
- [18] SUARDIAZ. *Feasibility analysis report for the definition of technical scenarios, commercial plan and emissions performance of a mobile LNG electricity generator for OPS.* CORE LNGas hive. 2017.
- [19] PUERTOS DEL ESTADO. *Guía de Gestión Energética en Puertos.* Ministerio de Fomento. Disponible en: http://www.puertos.es/es-es/Documents/guia_gestion_energetica_puertos_firmada.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. Metodología para el cálculo de la potencia

La potencia demandada por los Ro-Ro durante su estancia en puerto se ha estimado como el promedio de las potencias obtenidas a partir de diferentes parámetros del buque: eslora y Gross Tonnage (GT). 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 7: *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 Ro-Ro.

El estudio de la Universidad de Chalmers ha analizado la demanda de potencia, la frecuencia del sistema y el voltaje de operación para 30 buques tipo Ro-Ro. Para cada uno de ellos ha obtenido los valores de eslora, GT, 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 la eslora y la potencia necesaria durante la estancia en puerto:

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 9,0276 \cdot [\text{Eslora (m)}] - 585,36$$

Eq. 1

Este estudio también se ha tenido en cuenta para determinar el factor de potencia considerado (1,30), 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 7: *Trozzi [7]*)

Este documento describe en detalle la metodología más completa para la estimación de emisiones en navegación (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 Ro-Ro.

En base a lo anterior, se estima la potencia demandada por los Ro-Ro durante su estancia en puerto a partir de la ecuación Eq. 2.

$$[\text{POTENCIA (kW)}] = 0,24 \cdot (164,578 \cdot [\text{GT}]^{0,44})$$

Eq. 2

ANEXO II. Metodología para el cálculo de las emisiones

Para el cálculo de la reducción de emisiones asociada a la desactivación de los motores auxiliares de los Ro-Ro en el Puerto de Vigo, se ha tenido en cuenta la demanda eléctrica estimada en el apartado 4 del informe, así como los factores de emisión de cada contaminante, de acuerdo a la ecuación Eq. 3.

$$E_i = AE \cdot t \cdot FE_i \quad \text{Eq. 3}$$

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 .

A continuación, se exponen las hipótesis consideradas y los factores de emisión utilizados en cada caso que se ha analizado:

- Situación actual, donde los buques utilizan sus motores auxiliares durante el atraque.
- Implementación de un sistema OPS, donde los buques se conectan a la red eléctrica general durante su estancia en puerto.
- Implementación de un sistema OGSP, donde la electricidad suministrada a los buques se genera en puerto a partir de GNL.

Cálculo de las emisiones en la situación actual

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".

En cuanto a los factores de emisión utilizados, en la Tabla 49 se muestran los valores aplicables en el caso del MDO/MGO.

Tabla 49. Factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones contaminantes.
Fuente: OPS Master Plan for Spanish Ports [10].

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

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).

Cálculo de las emisiones con el sistema OPS

Para el cálculo de las emisiones asociadas al nuevo sistema de suministro eléctrico mediante una instalación OPS, se ha tenido en cuenta el mix eléctrico español.

En la Tabla 50 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-Ro en el Puerto de Vigo.

Asimismo, en la Tabla 51 se incluyen los factores de emisión asociados a cada una de las fuentes de energía, y que se han estimado a partir de las siguientes fuentes:

- Medidas para la dotación de suministro eléctrico a buques en los puertos de interés general (Organismo Público de Puertos del Estado) [9].
- Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports [14].

Tabla 50. Balance eléctrico nacional del año 2018. Fuente: REE.

BALANCE ELÉCTRICO ANUAL NACIONAL (2018)	
FUENTE DE ENERGÍA	GWh
Hidráulica	20.822
Turbinación bombeo	1.378
Nuclear	25.388
Carbón	14.980
Fuel + Gas	3.239
Ciclo combinado	12.640
Hidroeléctrica	12
Resto hidráulica	-
Eólica	28.094
Solar fotovoltaica	3.882
Solar térmica	1.984
Térmica renovable / Otras renovables	1.718
Cogeneración y resto / Cogeneración	14.213
Residuos no renovables	1.188
Residuos renovables	401
Generación	129.940

Tabla 51. Factores de emisión con sistema OPS.

FACTORES DE EMISIÓN SISTEMA OPS (g/kWh)						
	Carbón	Fuel	GNL	Renov.	Nuclear	FEi
CO₂	911,6	683,3	394	0	0	227,14
NO_x	1,8	2,5	0,3	0	0	0,389
SO_x	1,7	1,8	0	0	0	0,316
PM₁₀	1	0,8	0	0	0	0,183
PM_{2,5}	1	0,8	0	0	0	0,183

Cálculo de emisiones con el sistema OGSP

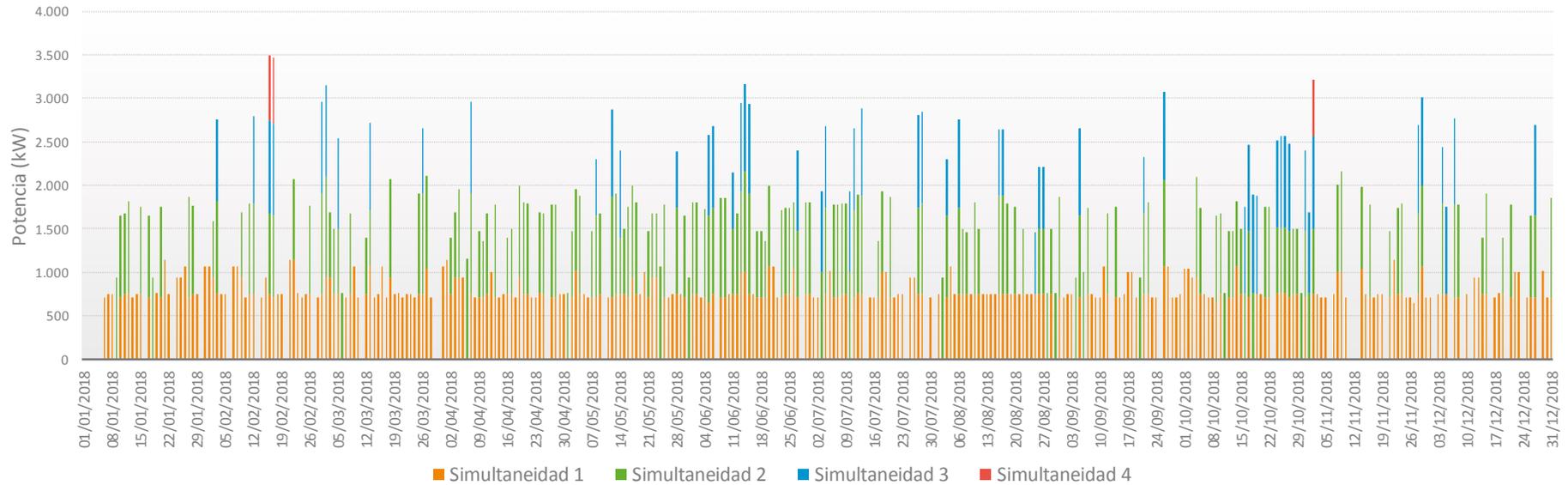
Para el cálculo de las emisiones asociadas al nuevo sistema de suministro eléctrico mediante una instalación OGSP, se han considerado los factores de emisión que se incluyen en la Tabla 52 para la generación de electricidad a partir de GNL.

Tabla 52. Factores de emisión con sistema OGSP.

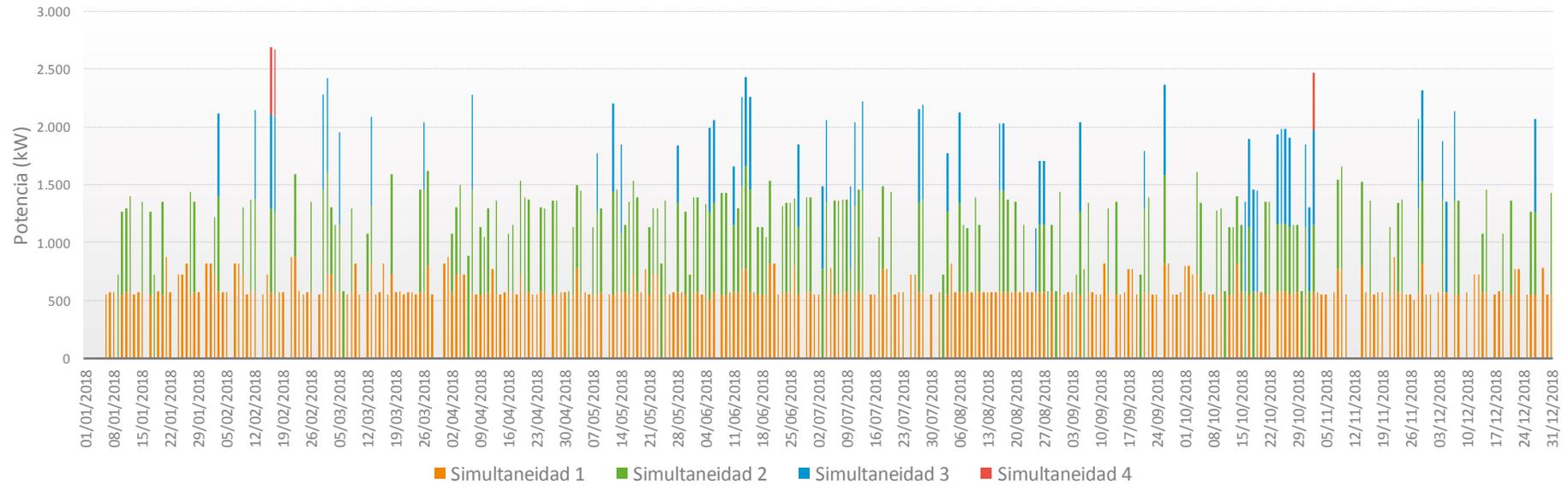
FACTORES DE EMISIÓN SISTEMA OGSP (g/kWh)	
CO₂	367,64
NO_x	4,61
SO_x	≈ 0
PM₁₀	≈ 0
PM_{2,5}	≈ 0

ANEXO III. Perfiles de demanda

PERFIL DE POTENCIA MÁXIMA DEMANDADA - BUQUES OBJETIVO



PERFIL DE POTENCIA MEDIA DEMANDADA - BUQUES OBJETIVO



ANEXO IV. Rangos de afectación Ro-Ro Puerto de Vigo



Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	250 m	0



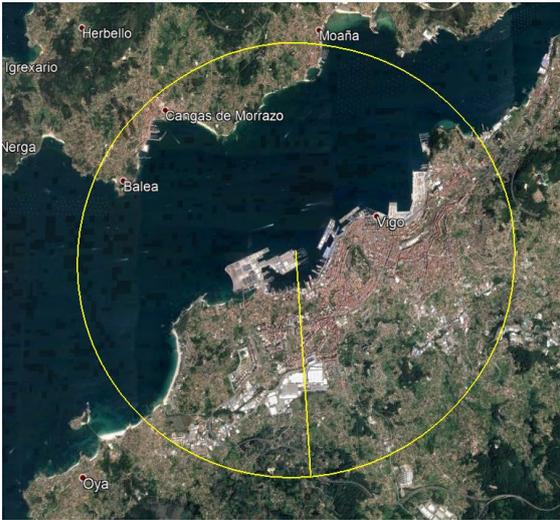
Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	500 m	0



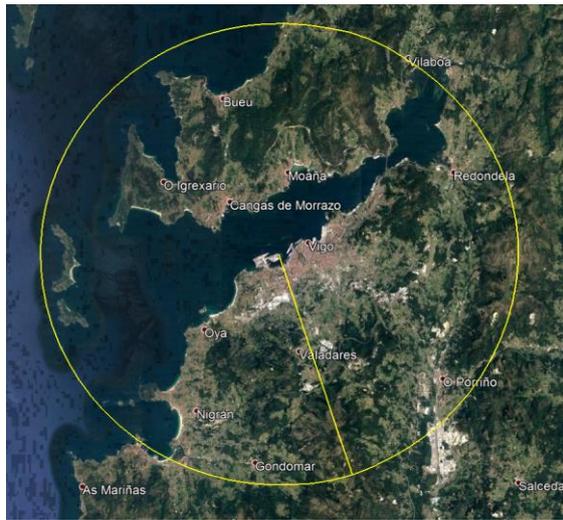
Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	1 km	199



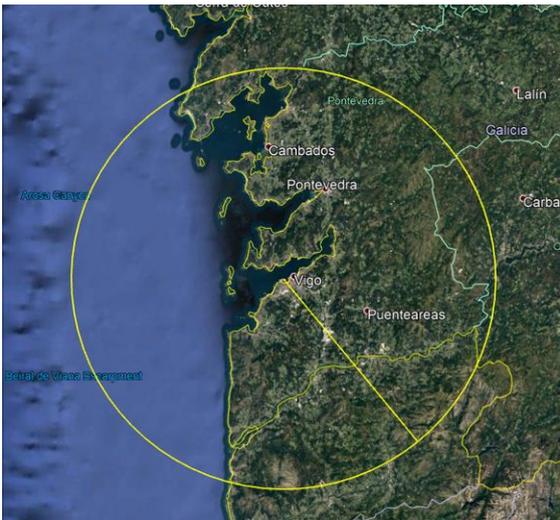
Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	2,5 km	62.079



Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	5 km	196.393



Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	15 km	471.546



Referencia	Radio	Población
Rampa 7 - T. Bouzas	50 km	1.038.901

ANEXO V. Cadena de suministro de GNL

Una de las cuestiones fundamentales a tener en cuenta para la implementación de un sistema OGSP es la forma en la que se lleve a cabo el abastecimiento del GNL, que será el combustible utilizado para la generación eléctrica. De esta forma, la configuración de la cadena logística será la que permita determinar el coste final asociado al suministro de GNL.

En el caso del Puerto de Vigo, se contemplan dos supuestos:

- A) Suministro de GNL desde la Terminal de Regasificación de Mugarodos.
- B) Suministro de GNL desde Terminal *Small Scale* (SSLNG) situada en el Puerto de Vigo.

A continuación, se explica más en detalle cada una de estas alternativas.

Suministro de GNL desde Mugarodos

Esta opción consiste en el transporte por carretera del GNL directamente desde la Terminal de Mugarodos hasta el depósito de almacenamiento del sistema OGSP. Para ello se utilizarían camiones cisterna, cuya capacidad suele estar en torno a los 40 m³.

La implementación de esta opción sería inmediata, y sería la forma de suministro de GNL elegida hasta la construcción de la Terminal SSLNG en el Puerto de Vigo.

Suministro de GNL desde Terminal *Small Scale*

La Autoridad Portuaria de Vigo contempla la construcción de una Terminal SSLNG en el puerto, consistente en un sistema de almacenamiento de GNL, dotado de los medios necesarios para el posterior suministro a transportes marítimos y terrestres (para su uso como combustible o para su distribución a pequeña escala en cisterna o barcaza).

En un estudio previo llevado a cabo por encargo de la Autoridad Portuaria¹², se ha determinado que esta terminal supone la piedra angular de la cadena logística para el suministro de GNL, siendo su construcción indispensable para poder satisfacer y consolidar la demanda potencial de GNL prevista para el Puerto de Vigo.

En este estudio, se definen y se analizan diez posibles escenarios en los que se plantean diferentes alternativas para el transporte de GNL desde al Terminal de GNL de Mugarodos hasta el consumidor final (en este caso, el sistema de generación OGSP situado en la Terminal de Ro-Ro). Estos escenarios se resumen a continuación en la Tabla 53.

¹² REGANOSA SERVICIOS. *Servicios de asesoramiento para el estudio de conexiones operativas y logística para el suministro de GNL a buques y artefactos flotantes – Entregable 2. Dimensionamiento y consideraciones logísticas.* Autoridad Portuaria de Vigo, 2018.

Tabla 53. Escenarios para el transporte de GNL. Fuente: Reganosa Servicios, Autoridad Portuaria de Vigo [15].

Escenario	Origen	Abast. Intermedio		Suministro GNL	Fin
1	Terminal GNL	Cisterna			Consumidor final
2		Cisterna		Terminal SSLNG	
3		Cisterna	Terminal SSLNG	Cisterna	
4		Cisterna		Barcaza	
5		Cisterna	Terminal SSLNG	Barcaza	
6		Buque de suministro			
7		Buque de suministro		Terminal SSLNG	
8		Buque de suministro			
9		Buque de suministro	Terminal SSLNG	Cisterna	
10		Buque de suministro	Terminal SSLNG	Barcaza	

Por otra parte, en este mismo estudio se analizan varias alternativas para la ubicación de la Terminal SSLNG en el Puerto de Vigo, proponiéndose finalmente su instalación en las inmediaciones de la Terminal de Ro-Ro tal y como se indica en la Figura 41.

La ubicación planteada en la Figura 41 proporciona ventajas a nivel logístico, debido a la cercanía del puerto marítimo, así como al punto de atraque planteado para el nuevo sistema OGSP. Sin embargo, en esta zona está previsto actualmente llevar a cabo una ampliación de la Terminal de Ro-Ro para la instalación de una nueva rampa. Por lo tanto, es muy posible que sea necesario redefinir la ubicación de la Terminal SSLNG en el Puerto de Vigo.



Figura 41. Vista aérea de la entrada a la zona portuaria de Vigo, resaltando la ubicación de la Terminal SSLNG. Fuente: Reganosa Servicios, Autoridad Portuaria de Vigo [15].

Finalmente, el estudio establece la capacidad inicial de la Terminal SSLNG en 1.000 m³, repartida en dos depósitos de 500 m³ cada uno. Asimismo, se proponen ampliaciones posteriores en

función de la evolución de la demanda, para lo cual se instalarían nuevos depósitos de 500 m³. En la Figura 42 se puede observar la distribución propuesta en el estudio para el escenario donde se requiere una mayor capacidad de almacenamiento.

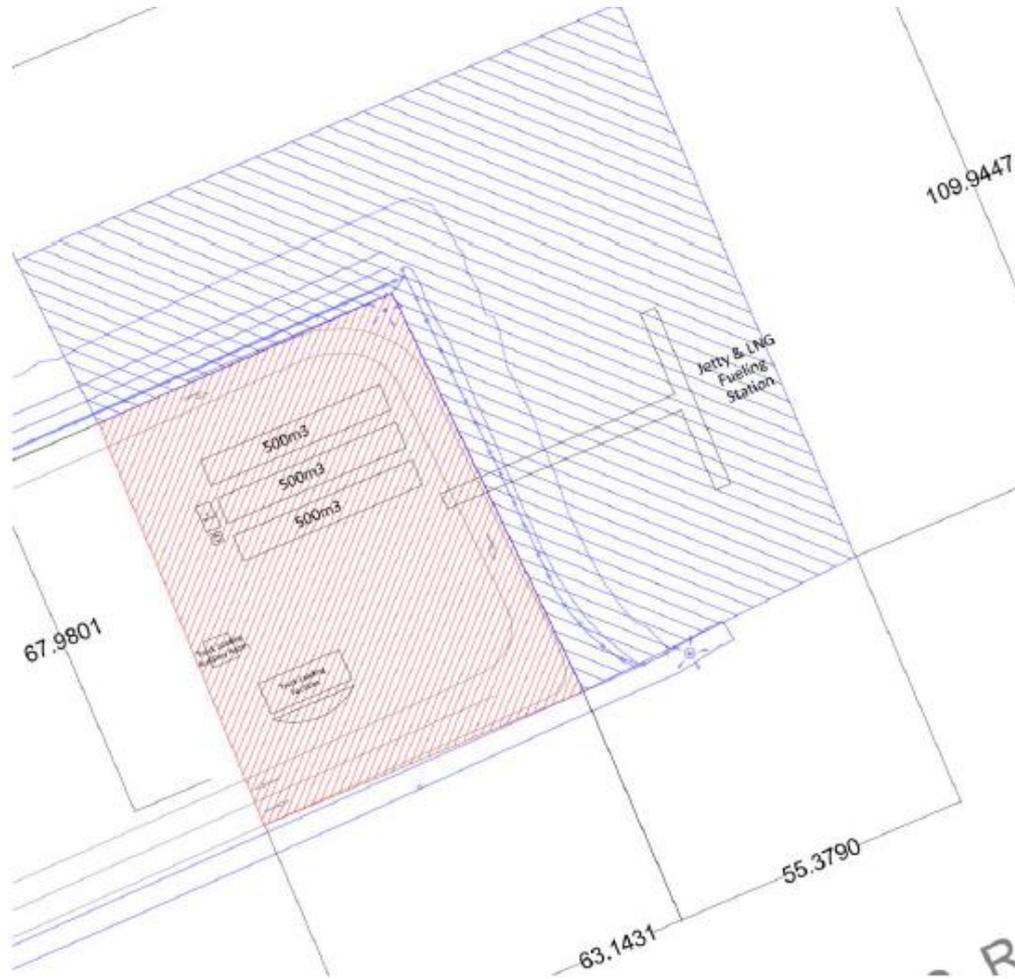


Figura 42. Distribución propuesta de las instalaciones en la Terminal SSLNG. Fuente: Reganosa Servicios, Autoridad Portuaria de Vigo [15].

De esta manera, se definen dos fases fundamentales para la incorporación de las infraestructuras para la cadena de suministro de GNL. En una primera fase, que se corresponde con la situación actual, el único medio de suministrar GNL a los consumidores en el puerto es mediante cisternas previamente cargadas en la planta de almacenamiento y regasificación de GNL.

De acuerdo al incremento de la demanda, se fija en la segunda fase el inicio de la operación de la Terminal SSLNG, dotada con un surtidor marítimo para abastecimiento en el propio muelle. Esta terminal permite además optimizar los costes logísticos asociados a las cisternas, lo que reduce en gran medida el precio del GNL.