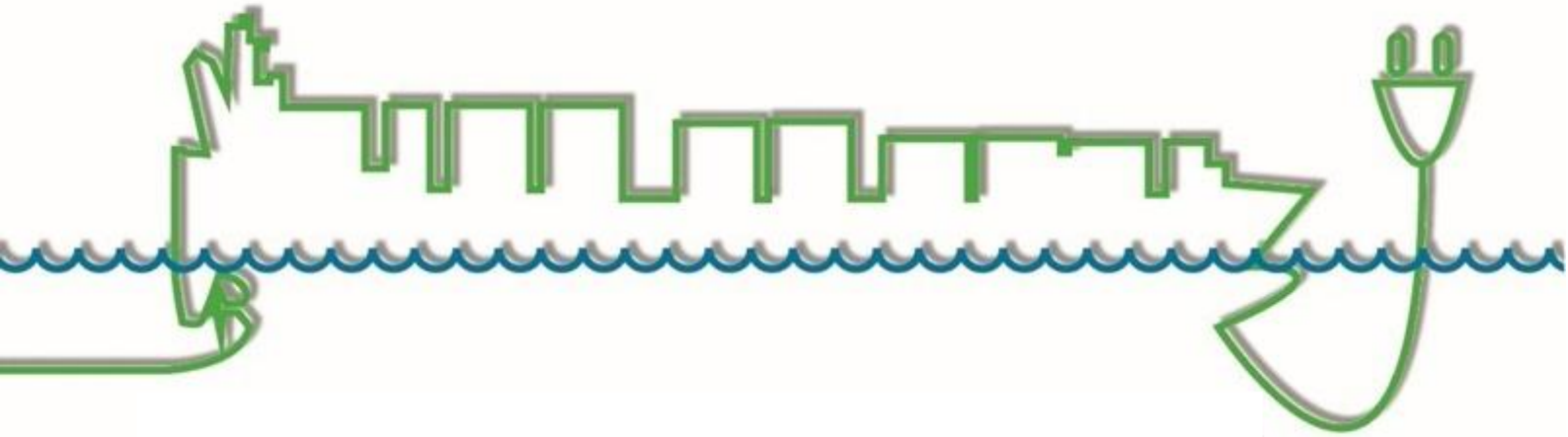
GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | Puertos del Estado

Suministro de energía eléctrica a buques en atraque

- Business case -

Marzo 2016



INOVA labs

Contenido

I. Introducción 1

II. Suministro eléctrico a buques ro-ro “L´Audace” y “La Surprise” en los atraques 5 y 6 de la Dársena de Bouzas 2

III. Equipamiento del muelle 5

A) Instalaciones eléctricas actuales. 6

B) Estudio del muelle 7

C) Costes de instalación 12

IV. Instalación a bordo de los buques 14

A) Características de los buques 14

B) Sistema de manejo del cable de conexión 16

C) Localización a bordo del sistema de gestión del cable de conexión 18

D) Costes de adaptación de los dos buques de Suardiaz 19

V. Evaluación financiera y económico-social 20

VI. Conclusiones 25

VII. Bibliografía 26

Anexo I: Impacto energético – ambiental 27

Anexo II: Tarificación eléctrica 28

Anexo III: Precio del MGO 31

Anexo IV: Sistema alternative Off-Grid Shore Power (OGSP) 32

Apéndice: Costes de adaptación de los dos buques 34

Agradecimientos

El equipo redactor agradece especialmente la colaboración del *Grupo Suardíaz* por la información aportada sobre sus buques sin la cual no podría haberse desarrollado este trabajo.

Asimismo, el equipo redactor reconoce la ayuda prestada por la compañía *Schneider Electric* por el asesoramiento técnico prestado.

Finalmente, se hace público que partes de este estudio han sido elaboradas en base de un estudio anterior sobre la viabilidad de implementar medidas verdes en la autopista de mar entre Vigo y Nantes - St. Nazaire *("Study on the use of clean fuels and systems with low Sulfur content in the Motorway of the Sea Vigo – Nantes Saint-Nazaire" – GREEN OPTIMOS)* financiado por la Unión Europea a través del TEN-T.

Este estudio no hubiera sido posible sin la colaboración de la Autoridad Portuaria de Vigo

Suministro de energía eléctrica a buques en atraque

I. Introducción

En este estudio se evalúa la viabilidad técnica, económica y medioambiental de instalar un sistema de suministro eléctrico a buques en atraque, en concreto para el Puerto de Vigo. El estudio incluye:

- Definición de instalaciones en tierra y a bordo.
- Estimación de los costes asociados a dichas instalaciones (costes fijos y variables).
- Análisis del balance energético y del impacto ambiental de las emisiones y la contaminación sonora.

Como paso previo, con la colaboración de los Servicios de la Autoridad Portuaria, se ha analizado el tráfico y elegido los buques y muelles idóneos para un piloto de suministro eléctrico desde la red eléctrica general.

Este estudio implica comparar el suministro de combustible fósil actualmente usado por los motores auxiliares a bordo (MGO) durante la estancia de los buques en atraque con la alternativa "Onshore Power Supply" (OPS) desde la red eléctrica local; además se plantea también la alternativa "Off-Grid Shore Power", que consiste en el suministro autónomo desconectado de red mediante sistemas de cogeneración móvil basado en gas natural: es decir, la alternativa "Off-Grid Shore Power" desde barcaza, que consiste en un sistema de cogeneración de GNL montado en una barcaza flotante autopropulsada.[1]

[1] Esta solución todavía no existe en el mercado nacional, pero un consorcio Gallego está desarrollando este sistema actualmente

II. Suministro eléctrico a buques ro-ro “L´Audace” y “La Surprise” en los atraques 5 y 6 de la Dársena de Bouzas

Para que un sistema de suministro eléctrico para buques en puerto sea viable hay que identificar el tipo de tráfico y buque idóneo. En el caso de Vigo se identificaron dos buques tipo RORO (Roll-on/Roll-off) de la naviera Suardiaz, “L´Audace” y “La Surprise” como candidatos idóneos para ser pilotos en el suministro eléctrico a buques desde la red. Actualmente esos dos buques son los que operan la autopista de mar entre Vigo y Nantes St. Nazaire (Motorway of the Sea, “MoS”). Si bien es cierto que uno de los factores clave a la hora de seleccionar estos buques como candidatos a ser suministrados con energía eléctrica es la frecuencia de sus rutas, existen otros factores que motivan esa elección. A continuación, se listan los principales factores:

- Grado de repetición de atraque ocupado por los buques y grado de ocupación de los atraques.
- Existencia, localización y características de las instalaciones electromecánicas en los muelles.
- Disposición de la naviera para estudiar - adaptar sus buques a OPS.

Teniendo en cuenta estos tres factores se han identificado dichos dos buques RORO de la MoS Vigo – Nantes St. Nazaire que operan exclusivamente esta ruta haciendo más que 300 escalas al año, siempre en los mismos atraques y con una estadía media en Vigo de 24h. Por otra parte, la naviera SUARDÍAZ ha mostrado interés en este estudio en línea con la propia marca “Autopista del Mar” que exige el mayor compromiso para minimizar el impacto en el medio ambiente.

Figura 1 – Buques RORO “La Surprise” y “L´Audace” de Suardiaz

Item	Cantidad
Número de Viajes (Vigo - Nantes St. Nazaire)	312 (“L’Audace” + “La Surprise”)
Horas en el Mar	29 horas (Cada Barco)
Horas de aproximación a puerto	1 hora (Cada Barco)
Velocidad de Navegación en mar	16,5 Nudos
Velocidad de navegación en la aproximación a puerto	Entre 6 y 12 Nudos
Horas en el Puerto de Vigo	24 horas (Cada Barco)
Horas en el Puerto de Nantes St. Nazaire	26 Horas (Cada Barco)

Tabla 1 – Datos operacionales de los buques RORO “La Surprise” y “L´Audace” en la autopista de mar

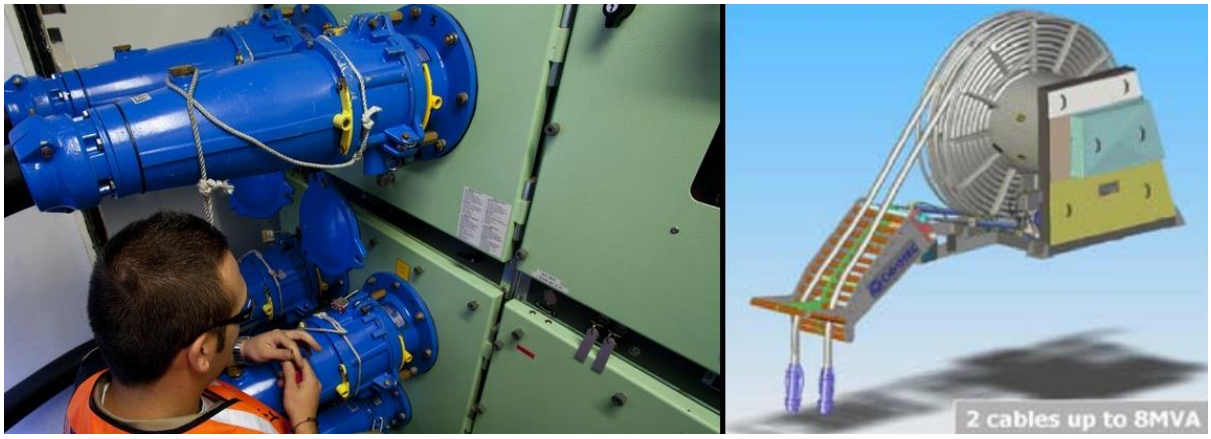


Figura 2 – Cables de conexión a bordo (izquierda); esquema de un sistema de manejo de cables para ser instalado en la cubierta de un buque RORO (derecha)

Dada a la arquitectura de este tipo de buques (la cubierta de los buques RORO no es una zona de almacenamiento de mercancía, y la carga de mercancía se produce por una rampa alojada en la parte posterior de buque), la zona de cubierta posee espacio disponible para la instalación de sistemas para el almacenamiento de cables y de sistemas para el manejo (subida y bajada) de los contactos eléctricos. Por preferencia de la autoridad portuaria de Vigo se optó por un sistema de manejo y subida de cables y conexiones entre buques y muelle desde el buque (ver imágenes de rodillos arriba). Los buques "L'Audace" y "La Surprise" atracan por estribor en los muelles de Bouzas Vigo. Por esa razón los sistemas de manejo de cables de conexión entre buque y muelle deberían estar ubicados por estribor para la opción OPS y por babor para la opción OGSP flotante. (En otras circunstancias con buques distintos y arquitectura de muelle distinta una grúa desde el muelle puede ser la solución favorable.)

Figura 3 – Localización de la terminal de ROROs en Bouzas (Puerto de Vigo) (izquierda) y los 5 muelles de esta terminal RORO (derecha)

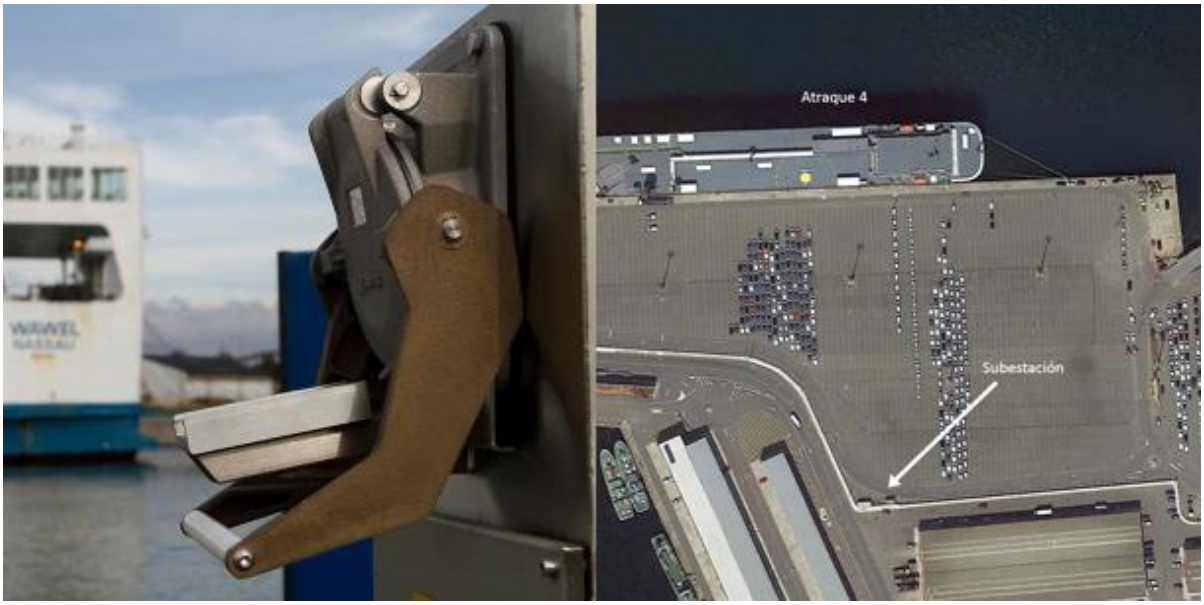


Figura 4 – Ubicación de estación de trasformadores más cercana en el muelle RORO (izquierda) y ejemplo contactos energéticos (derecha)

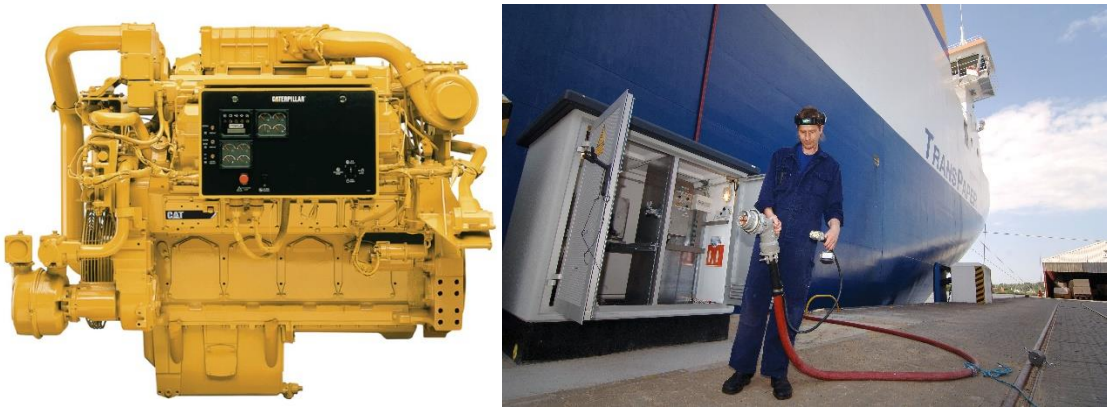


Figura 5 – Caterpillar 3508B motor auxiliary de L´Audace y La Surprise (izquierda) y Onshore Power Supply Operación (derecha)

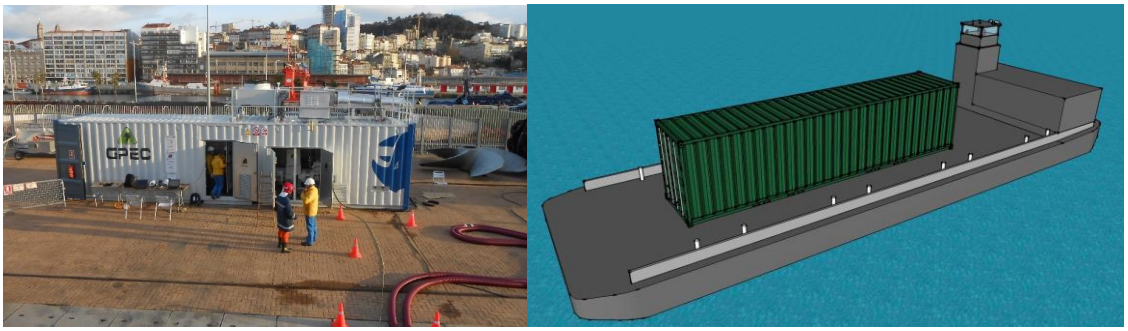


Figura 6 – Versión actual de un Sistema OGSP en base de gas natural licuado suministrando energía eléctrica y térmica de un consorcio Gallego ("Green Port Energy Center – GPEC") (izquierda) y esquema modelizado de un sistema OGSP en barcaza (derecha)

III. Equipamiento del muelle

El terminal RORO del puerto de Vigo se ubica en el muelle de Bouzas. Esta terminal RORO cuenta actualmente con cinco puntos de atraque o rampas, pero se están acometiendo las obras necesarias para ampliar la capacidad de este muelle e instalar un sexto punto de atraque mediante la instalación de una rampa flotante. En los siguientes planos se puede observar la distribución de los muelles y la ubicación del futuro sexto atraque.

Figura 7 - Distribución actual de los cinco puntos de atraque o rampas actualmente disponibles en la terminal RORO de Bouzas

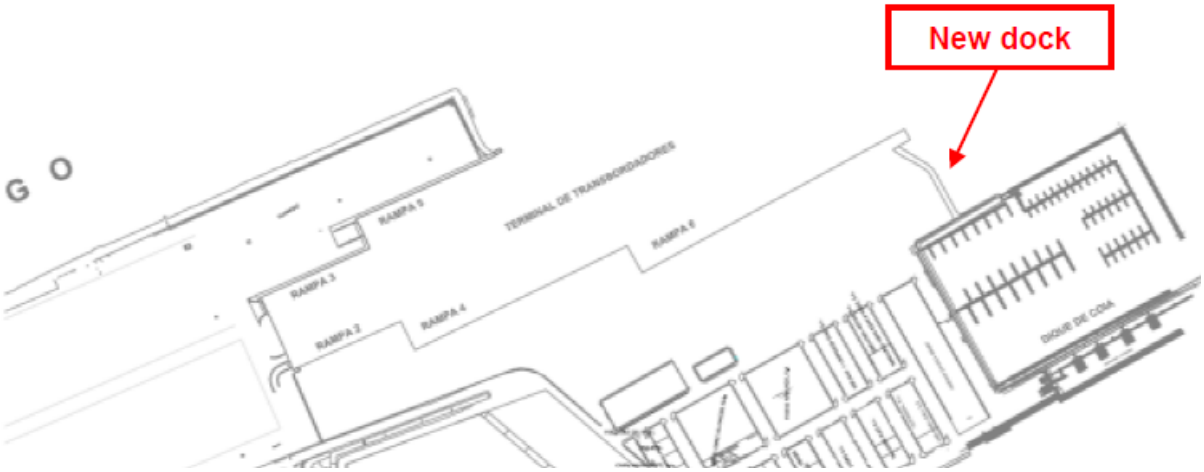


Figura 8 - Ubicación del nuevo atraque o rampa en la terminal RORO de Bouzas

Los muelles donde atracan actualmente los buques de la MoS son los muelles 3 y 4, pero dado que una vez finalizadas las obras de ampliación de la nueva rampa los muelles destinados a los buques RORO que operan en la MoS pasarán a ser las rampas 5 y la nueva o rampa 6. Es por ello que para este estudio, dado que se centra en los buques que operan en la MoS, se eligen los muelles 5 y 6.

El sistema OPS, es un sistema de suministro de energía eléctrica a buques que se basa en obtener esta energía eléctrica de la red eléctrica nacional y de forma que sea compatible con el sistema eléctrico del buque. Para que este sistema sea efectivo, es necesario tener un punto de conexión con la red eléctrica nacional. A lo largo de los siguientes apartados se estudia este sistema así como las condiciones actuales de la terminal de Bouzas para el suministro eléctrico desde la red eléctrica (OPS).

A) Instalaciones eléctricas actuales.

El primer aspecto a tener en cuenta en un estudio técnico para la implantación de un sistema de suministro eléctrico a buques desde puerto es la disponibilidad de potencia eléctrica en el punto de suministro. La red eléctrica que abastece a la terminal de Bouzas es propiedad de "Gas Natural-Unión Fenosa".

Hoy en día, esta terminal de Bouzas tiene contratados dos proveedores de electricidad, "Gas Natural-Unión Fenosa" e "Iberdrola". La potencia se suministra desde una de las dos principales subestaciones eléctricas locales cercanas a la terminal de Bouzas. Estas dos subestaciones eléctricas son las de “Balaídos” y “El Castro”, ambas situadas en un radio de aproximadamente 3-5 kilómetros. Estas dos subestaciones proporcionan la potencia eléctrica a otra pequeña subestación situada en la terminal de Bouzas. La ubicación de esta pequeña subestación se puede observar en el siguiente mapa.

Figura 9 - Situación aproximada de la subestación de la terminal RORO de Bouzas

Esta pequeña subestación es la encargada de cubrir las demandas eléctricas actuales de la terminal de Bouzas. En este momento, la mayor parte de la demanda eléctrica del terminal está relacionada con la iluminación. Actualmente este terminal de Bouzas tiene contratada una potencia de 300 kW y

255 kW con Gas Natural-Unión Fenosa e Iberdrola respectivamente, con una tensión de alimentación de 15 kV (a través de una tarifa 3.1A). Esta pequeña subestación o estación transformadora se instala en el puerto para adaptar los niveles de tensión a la baja tensión requerida para lámparas y focos en el terminal.

Las necesidades de energía eléctrica para las operaciones en el puerto de los buques RORO que operan en la MoS son de al menos unos 600 kW, como se explicará en el apartado técnico destinado al estudio de los buques. Por lo tanto, la capacidad de potencia actual instalada en el puerto es claramente insuficiente para satisfacer las necesidades de electricidad de los buques RORO que operan en la MoS.

Para instalar un sistema OPS en la terminal de Bouzas, es absolutamente necesario ampliar esta red con una potencia que puede ser cercana a 1.000 kW ó 1 MW.

En cuanto a la frecuencia del suministro eléctrico no sería necesaria ninguna modificación. Los buques operan a una frecuencia de 50 Hz, que es la misma frecuencia de la red.

B) Estudio del muelle.

Tal como se ha dicho anteriormente los buques de las MoS operarán en los atraques o rampas 5 y 6. Por ello para este estudio se centrará en el equipamiento de ambos atraques.

La idea de este estudio es la de describir una posible solución técnica para la adaptación de este atraque o muelle para poder dar suministro eléctrico a los buques RORO que operan en la MoS.

Entre los componentes básicos mínimos necesarios para la adaptación de este muelle son lo que a continuación se listan:

- Transformador eléctrico. Los transformadores eléctricos son máquinas que sirven para adaptar los niveles de tensión de la energía eléctrica. En este caso el transformador se utilizará para adaptar el nivel de tensión de la energía eléctrica proveniente de la red eléctrica para adaptarla a las necesidades del sistema de suministro de energía eléctrica.
- Sistema de seccionamiento y enclavamiento. Son sistemas que sirven para aislar los diferentes elementos del circuito eléctrico con el fin de que se garantice que no existe contacto eléctrico cuando estos sistemas están activados.
- Sistemas protección y control. Son sistemas que se encargan de manejar y controlar el flujo de energía eléctrica. También son los encargados de cortar ese suministro en caso de detectar cualquier mal funcionamiento o alerta que pueda afectar al funcionamiento del sistema en general.

En cuanto a la ubicación del sistema, se ha elegido una zona que no suponga ninguna molestia al normal funcionamiento de las actividades portuarias de carga y descarga de vehículos. Dado que los buques RORO cargan los vehículos por la parte posterior del mismo, se puede utilizar la parte lateral de estos buques para la instalación de este tipo de sistemas de suministro de energía. En el plano mostrado a continuación, se puede observar la ubicación elegida para la instalación del sistema “Cold Ironing” en la rampa 5 y 6 de la terminal RORO de Bouzas en puerto de Vigo.

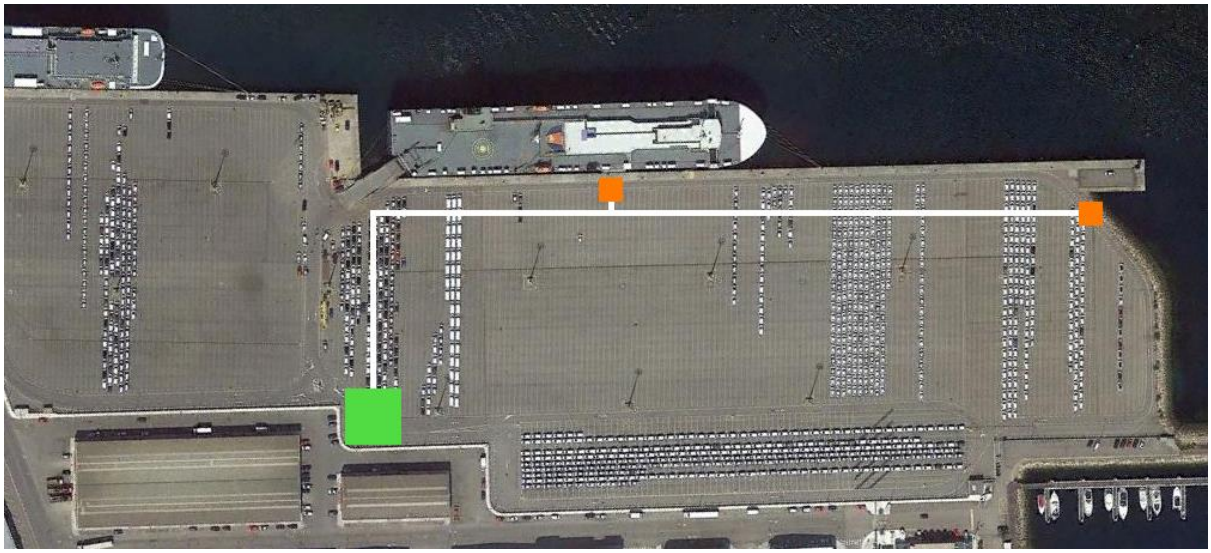


Figura 10 - Ubicación aproximada de la subestación de transformación de energía eléctrica para el suministro de energía eléctrica en la atraque o rampa 5 de la terminal RORO de Bouzas

La zona verde corresponde con la ubicación física donde se hace la conexión con la red eléctrica nacional. Las líneas blancas representan el cable enterrado que hay que extender para llevar la energía eléctrica hasta el muelle. La distancia aproximada que se debe salvar con estos cables es de unos 1.500 metros. Por último, los recuadros de color naranja representan la ubicación de los pequeños centros de transformación donde se alojarían todos los componentes necesarios para dar suministro eléctrico a buques.

El muelle o rampa 6 tiene una peculiaridad. Se trata de una rampa flotante y los asideros o puntos de amarre son duques de Alba conectados entre sí mediante pasarelas metálicas. Por ello se propone instalar el sistema OPS en tierra, cerca de la entrada a la rampa, y llevar la energía eléctrica mediante cable hasta uno de los duques de Alba. Esto se realizaría mediante la fijación de estos cables a dichas pasarelas. El esquema de esta solución es el que se expone en el siguiente plano.

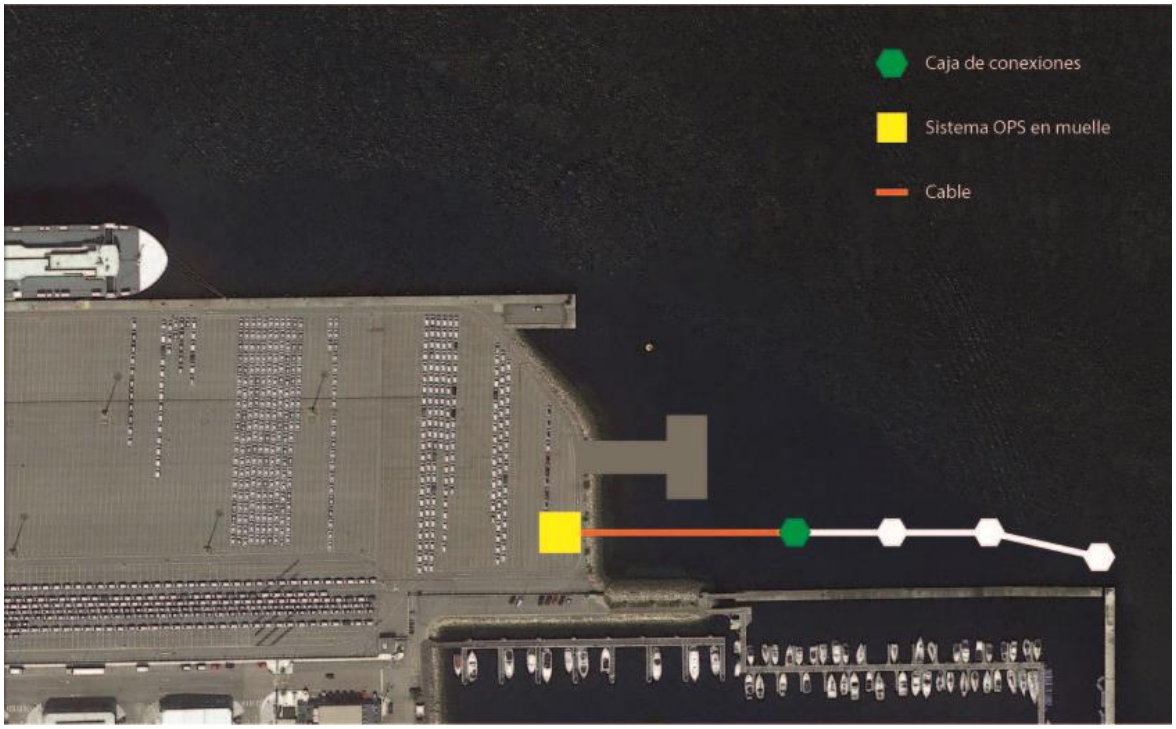


Figura 11 - Esquema de la solución OPS para el muelle o rampa 6

Los cables que se utilizarán para distribuir la energía eléctrica desde la subestación conectada a la red eléctrica a la pequeña subestación donde se aloja el sistema OPS deben ser cables enterrados. La razón de esta elección es por razones de seguridad y para interferir lo menos posible en las operaciones del puerto. La otra alternativa sería llevar los cables aéreos, pero ello conllevaría un prejuicio en espacio lo que disminuiría la capacidad de almacenamiento de coches, debido a las zonas de seguridad que habría que dejar bajo estos cables de alta tensión. Los cables deberían ser enterrados mediante una zanja que discurriría entre ambas subestaciones. Un ejemplo del tipo de cable que se puede utilizar puede verse en la siguiente ilustración.

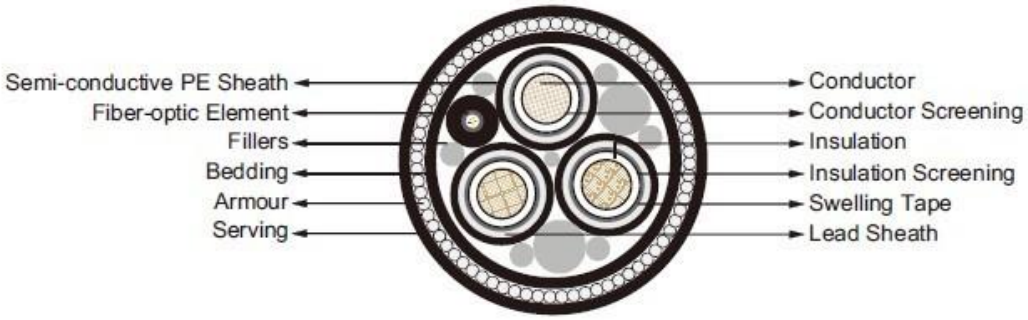


Figura 12 - Esquema de un cable de alta tensión trifásico destinado a ser enterrado

En cuanto a la pequeña subestación que sería necesario instalar cerca del muelle sería lo más compacta posible. Este edificio alojará tanto el transformador como todos los sistemas necesarios para el control y manejo de este sistema. En este caso se ha propuesto utilizar una pequeña instalación de unos 10 metros cuadrados como la que se muestra a continuación.

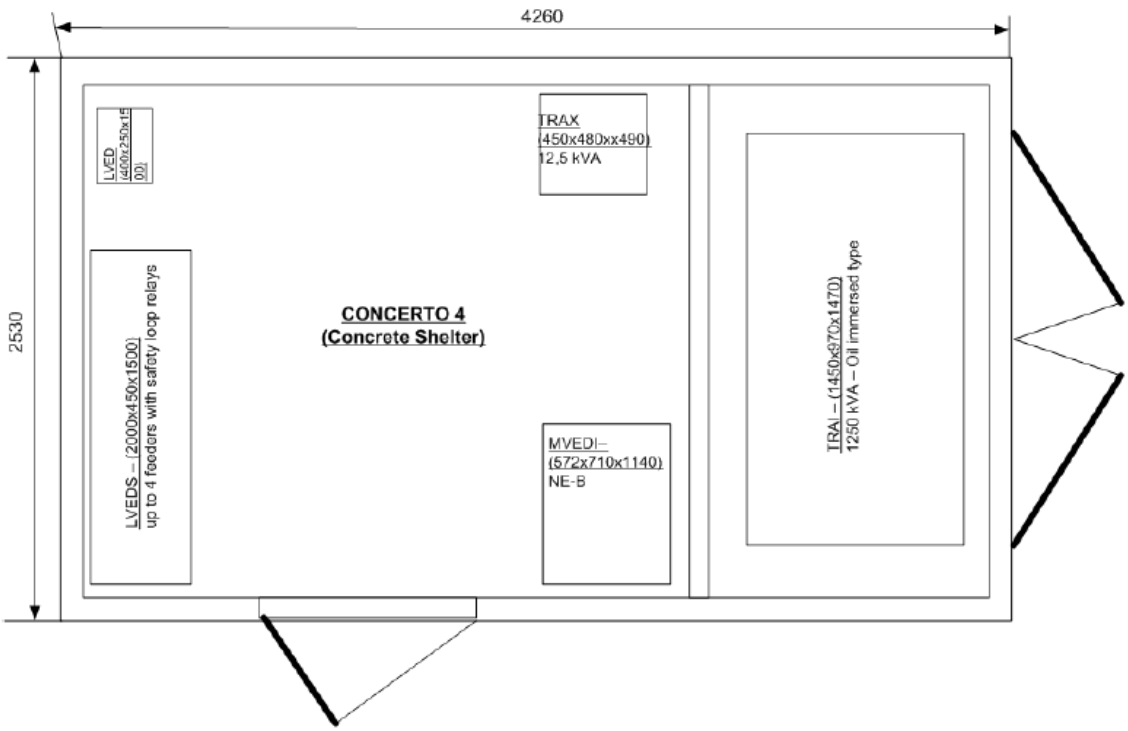


Figura 13 - Planta de una edificación para alojar los componentes necesarios para un sistema OPS (Schneider Electric)

Para esta propuesta se ha contado con el asesoramiento de "Schneider Electric", empresa especialista en sistemas de estas características.

Schneider Electric tras analizar las características de los buques y las instalaciones existentes en la terminal de RORO de Bouzas recomienda el uso de un sistema que suministre energía eléctrica en baja tensión, concretamente a 400 V.

Por otro lado, el buque opera a 400 V, por lo que si se utilizase un sistema de distribución en alta tensión, sería necesario instalar en el buque un sistema para adaptar la tensión de la energía distribuida desde el muelle al barco para hacerla compatible con el voltaje de operación del buque, lo que incurriría en un sobrecoste adicional para el buque.

Para esta instalación, "Schneider Electric" propone instalar una pequeña edificación como la vista en la ilustración anterior (Figura 13 *- Planta de una edificación para alojar los componentes necesarios para un sistema OPS (Schneider Electric)*) que contendría un transformador de 1.250 kVA para la potencia eléctrica de los buques. Este transformador es el encargado de adaptar el nivel de tensión de la red, 15 kV, a la tensión de operación del buque, 400 V. Esta instalación también está provista de un transformador auxiliar para dar servicio a los sistemas de control y manejo de la instalación. Entre los sistemas de control y manejo de la instalación destaca un seccionador de alta tensión (para la entrada de la corriente de la red eléctrica local), un seccionador de baja tensión (para la salida de la corriente del sistema OPS), un sistema de control de energía y un panel auxiliar de control.

A continuación, se muestra una imagen de una edificación de similares características a las propuestas por Schneider Electric.

Figura 14 - Ejemplo de una case para alojar un transformador de características similares a las propuestas por Schneider Electric.

En cuanto al manejo de los cables para conectar el buque con el sistema en tierra es necesario analizar las características del buque.

Los buques RORO se caracterizan por maximizar el espacio de sus bodegas con el fin de aumentar lo máximo posible la capacidad de carga del mismo. Los motores y los sistemas auxiliares y eléctricos de los buques analizados para la MoS ("L'Audace" y "La Surprise") se ubican en la parte inferior del mismo, por lo que su acceso con un sistema de brazo extensible desde el muelle se hace extremadamente difícil. Por ello, con el fin de mejorar y agilizar el proceso de conexión provocando las menores perturbaciones posibles para el normal funcionamiento del buque haciéndole perder el menor espacio de carga posible se ha propuesto la instalación del sistema de gestión del cable desde la cubierta del propio buque.

Este sistema consta de un carretón motorizado donde se aloja el cable que se utilizará para la conexión eléctrica. Este carretón motorizado se aloja en la cubierta del buque RORO, lugar donde el buque no almacena ningún tipo de carga, por lo que hay disponible espacio suficiente para la instalación de un sistema de estas características. Además del carretón motorizado, este sistema incluye las conexiones eléctricas necesarias para la conexión con el sistema eléctrico del barco así como el brazo extensor que se utiliza para acercar de manera óptima el cable al punto de conexionado del buque. Esta parte será detallada en el capítulo destinado al análisis técnico del buque.

Para poder dar servicio a un sistema de estas características, sería necesario instalar en el propio muelle un sistema que permita una conexión rápida con el cable extendido por el buque. Este tipo de sistemas se denomina caja de conexiones. Se trata de pequeñas estructuras instaladas en el propio muelle a escasos metros del buque, donde se encuentran las tomas eléctricas necesarias para la conexión del cable de suministro de energía eléctrica. Estas cajas de conexiones pueden ser de dos tipos. Por un lado están las cajas verticales, que serían 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. Por otro lado están las cajas de conexiones enterradas. Estas cajas son pequeñas construcciones enterradas donde se encuentran las conexiones eléctricas. Estas construcciones 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. 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. La elección de uno u otro sistema dependerá fuertemente de la necesidad de espacio que se requiera cuando no están conectados, ya que el subterráneo permite un tránsito normal cuando no está conectado. A continuación se muestran dos imágenes de los dos tipos de cajas de conexiones.

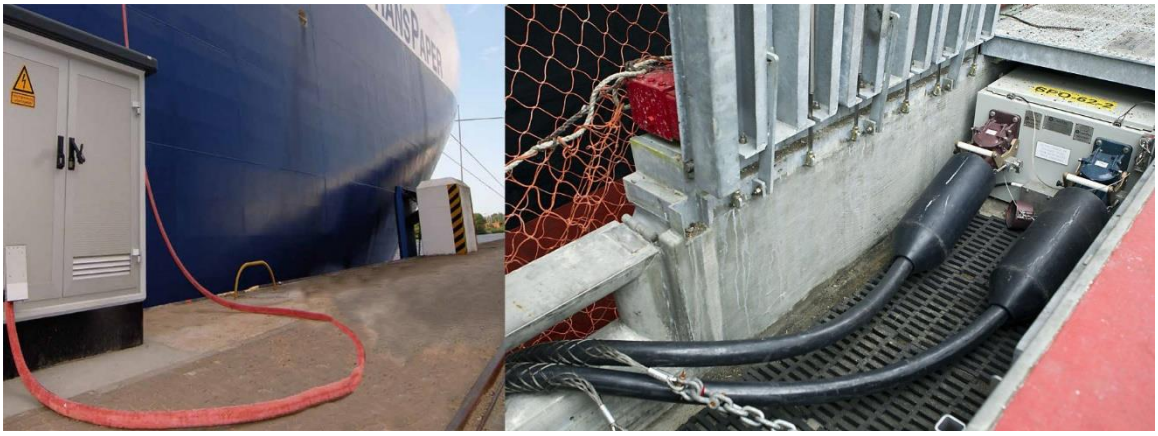


Figura 15 - Buque conectado a un OPS en una caja de conexiones vertical (izquierda) y a una caja enterrada (derecha)

C) Costes de instalación

A continuación se muestra una tabla con los costes de instalación de un sistema OPS. El presupuesto se divide en dos tablas:

- La primera de ellas es el presupuesto hecho por Schneider Electric para la instalación de la subestación transformadores para OPS.
- La segunda tabla incluye el resto de los costes asociados a la instalación de este sistema así como el total general de la instalación en puerto.

	Item	Q	Precio de Venta
Material + MO	Transformador 1250 kVA - 20 kV/400 V - Oil immersed type	2,00	
	Celda RM6-24 NE-B	2,00	
	Transformador Auxiliar 12,5 kVA 400/400 V	2,00	
	Suministro Cuadro Eléctrico LVD	2,00	
	Suministro Cuadro Eléctrico LVEDS (Prisma P 2 columnas+ Aparamenta + Montaje y cableado interno)	2,00	
	Suministro Cuadro Eléctrico Externo	2,00	
	Envolvente de Hormigón	2,00	
	Mano de obra Montaje e interconexión interior del prefabricado (En fábrica de Griñon Esp)	2,00	
	Transporte a plaza y descarga	2,00	
	Costes subactividad Griñon	1,0	
	Total Material + MO		**218.373,10 €**
Project Management	Arranque del Proyecto		
	Ingenieria de Diseño		
	FAT (Básicas en Griñon)		
	Ubicación - Adecuación		
	Seguimiento Proyecto		
	Puesta en Marcha		
	Gastos vários		
	Curso de Formación		
	Total Project Management		18.944,8 €
Schneider Country (SOC)	Provisión de riesgos		
	Caution / Bond / Letter Of Credit		
	Insurance		
	Garantia		
	Total DVC costs		**20.458,4 €**
	Total PROJECT (k€):		**257.776,37 €**

Tabla 1 - Presupuesto de instalación de la subestación transformadora para un sistema OPS

Equipamiento adicional para el OPS propuesto por Schneider Electric					
Conexión con la red nacional y cableado					
Concepto	Cantidad		Precio/Unidad		Total en €
Conexión con la Red Nacional	1		524.109,00 €		524.109,00 €
Cables	1308,62	m	15,11 €		19.773,25 €
Soterramiento de cables	1308,62	m	110,54 €		144.654,85 €
				SUBTOTAL	**688.537,10 €**
Conexión de la subestación con el muelle y conexiones					
Concepto	Cantidad		Precio/Unidad		Total en €
Caja de conexiones	2	pcs	12.300,00 €		24.600,00 €
Cables	105	m	15,11 €		1.586,55 €
Soterramiento de cables	105	m	110,54 €		11.606,70 €
				SUBTOTAL	**37.793,25 €**

Schneider ShoreBox (2 unidades)	257.776,37 €
Conexión con la red nacional y cableado	688.537,10 €
Conexión de la subestación con el muelle y conexiones	37.793,25 €
COSTE TOTAL	**984.106,73 €**

Tabla 2 - Costes totales de la instalación de un sistema OPS en dos muelles

IV. Instalación a bordo de los buques

A) Características de los buques

Actualmente la ruta de la Autopista del Mar (MoS) está cubierta por dos Barcos de la Naviera Suardiaz. Los buques que cubren esta ruta son los buques “L’Audace” y “La Surprise”. Son barcos gemelos construidos en los astilleros “Hijos de J. Barreras” en Vigo en los años 1999 y 2000 respectivamente. Como se ha comentado estos barcos son gemelos por los que sus características son similares en lo que a propulsión y necesidades energéticas se refiere.

La longitud total es de 141,25 metros y la anchura es de 21 metros. Con estas dimensiones del buque asciende a un tonelaje neto de 10.322. El siguiente gráfico muestra la sección transversal de los buques gemelos “L'Audace” y “La Surprise”.

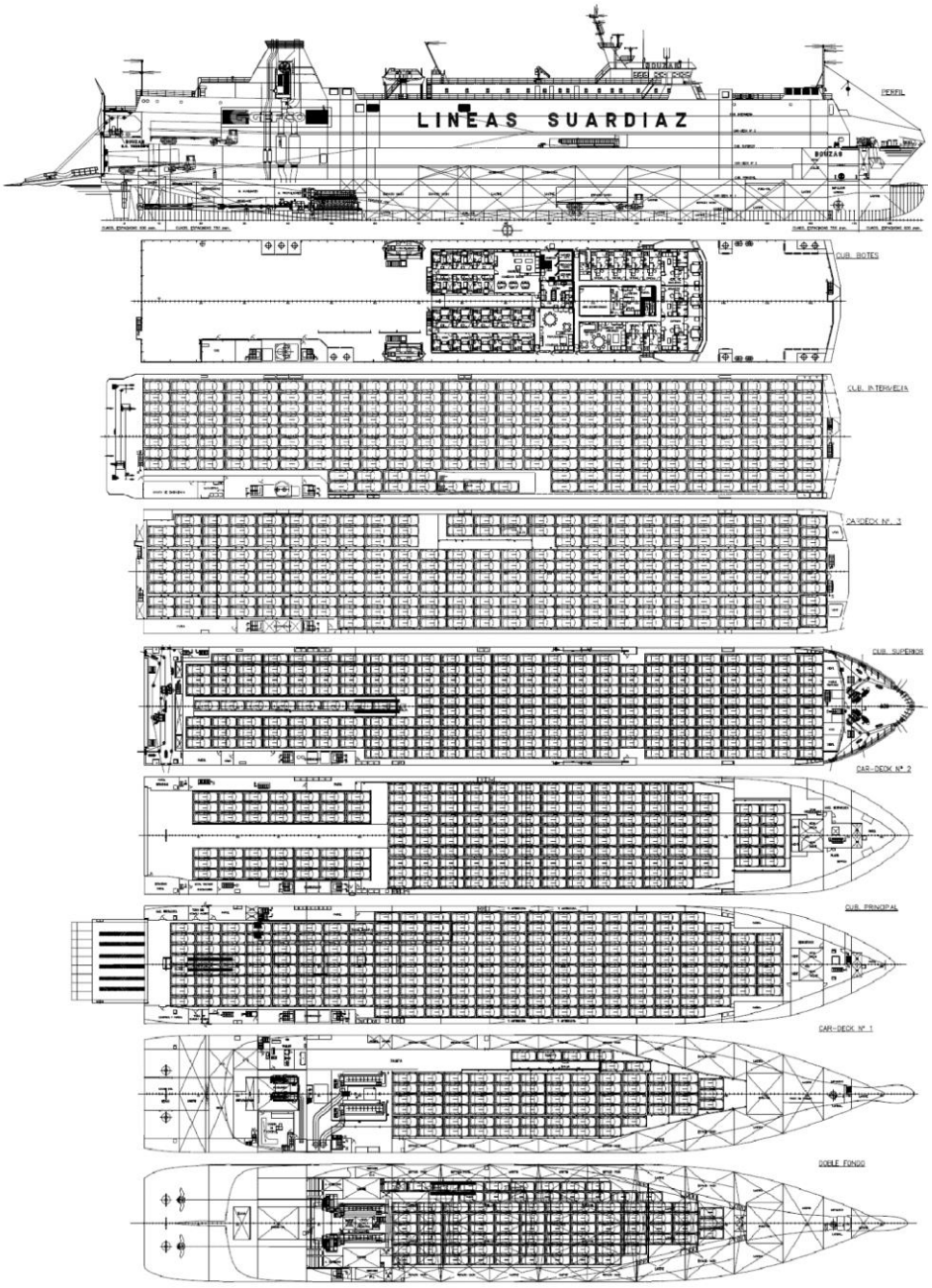


Figura 16 - Secciones de los barcos "L'Audace" y "La Surprise" (Fuente: Suardiaz)

A continuación se muestra una tabla con la información técnica relevante de ambos buques:

Características de los buques de las MoS		
Nombre de los Buques	L'Audace	La Surprise
Número IMO	9187318	9198719
Año de construcción	1999	2000
Propietario	Flota Suardiaz S.L.	Flota Suardiaz S.L.
LPP (m)	132,00	132,00
Length Overall (m)	141,25	141,25
Moduled Breath (m)	21,00	21,00
Moduled Depth (m)	7,00	7,00
Max. Draft (m)	6,00	6,00
F.W.A (mm)	114	114
Gross Tonnage (GT)	15.224	15.224
Net Tonnage (NT)	10.322	10.322
Light Ship Weight (tons)	6.410	6.410
Deadweight (tons)	4.695	4.695
Velocidad (nudos)	18,5	18,5
Área de cubierta (m^2)	6.609	6.609
Área de cubierta movible (m^2)	3.728	3.728
Capacidad total de transporte	1.164 Coches	1.164 Coches
Frecuencia del sistema eléctrico a bordo	50 Hz	50 Hz
Tipo de motor principal	MAN B&W 9L40/54	MAN B&W 9L40/54
Potencia del motor principal (kW)	6.480	6.480
Tipo de motor auxiliar	Caterpillar 3508B	Caterpillar 3508B
Potencia del motor Auxiliar (kW)	673	673
Combustible usado en Mar	HFO (3,5 % azufre)	HFO (3,5 % azufre)
Combustible usado en puerto	MGO (0,1 % Azufre)	MGO (0,1 % Azufre)

Tabla 4 - Características técnicas de los buques "L'Audace" y "La Surprise" (Fuente: Suardiaz)

Las características anteriormente descritas, son características genéricas, propias de las características constructivas. Para el análisis de un sistema de suministro de energía eléctrica en alta tensión desde el muelle, sería necesario analizar las características de los sistemas eléctricos de los buques. En este caso las características eléctricas de los buques son las que aparecen en la siguiente tabla:

Características Eléctricas de los buques de la MoS		
Voltaje Eléctrico	400 V	
Voltaje Eléctrico Luces	220 V	
Frecuencia Eléctrica	50 Hz	
Factor de potencia	0.8	
Demanda de potencia eléctrica navegando	900 kW	1125 kVA
Demanda de potencia eléctrica con el máximo de contenedores frigoríficos cargados	980 kW	1225 kVA
Demanda de potencia eléctrica navegando solo con carga de vehículos	450 kW	562.5 kVA
Demanda de potencia eléctrica maniobrando en puerto	900 kW	1125 kVA
Demanda de potencia eléctrica en puerto cargando mercancías con el máximo número de contenedores frigoríficos cargados	840 kW	1050 kVA
Demanda de potencia eléctrica en puerto cargando mercancías	600 kW	750 KVA
Demanda de potencia eléctrica en puerto sin operaciones	280 kW	350 KVA

Tabla 5 - Tabla con las características eléctricas de los buques "L'Audace" y "La Surprise"

Como se puede observar en la tabla anterior la mayor potencia requerida en el puerto coincide con las operaciones de carga de vehículos cuando los buques están cargados con contenedores refrigerados. Esta máxima potencia demandada es de 900 kW o lo que es lo mismo, 1125 kVA teniendo en cuenta que el factor de potencia es 0,8. Si se quiere hacer suministro desde el puerto será necesario suministrar esta potencia desde el muelle.

Como se ha explicado en el capítulo referido a la información técnica del muelle, estos buques RORO, tienen el espacio de carga en sus bodegas muy optimizado. Los motores principales y auxiliares, así como los sistemas eléctricos están concentrados y localizados en la parte inferior del propio buque, haciendo que sea muy complicado su acceso desde el exterior con un cable extendido desde un brazo desde el muelle. En la siguiente imagen se muestra la localización física de los motores y sistemas eléctricos.

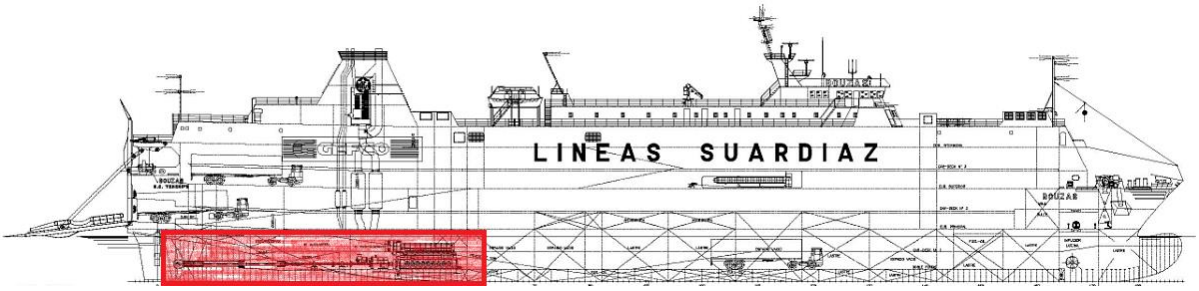


Figura 17 - Esquema del buque L'Audace de Suardiaz

Como se puede observar en la imagen anterior, la zona marcada en rojo es la zona donde se encuentran los sistemas de generación eléctrica y los sistemas eléctricos. Por ello el acceso a esta zona es complicada mediante un brazo extendido desde el puerto.

Por ello, tras analizar diferentes soluciones se ha llegado a la conclusión de que el mejor sistema para suministrar energía eléctrica desde el exterior es usando un sistema instalado en el propio buque. Este es un sistema cuya filosofía es transportar él mismo los elementos necesarios para hacer la conexión a un sistema OPS o “Cold Ironing” o a un sistema OGSP. Como se ha explicado anteriormente, la cubierta de los buques tipo RORO son zonas despejadas libres de carga, por lo que es el lugar ideal para la instalación de un sistema de estas características.

B) Sistema de manejo del cable de conexión

Este sistema de manejo de cables desde la cubierta consta básicamente de los siguientes elementos:

- Un carretón motorizado. Se trata de una bobina motorizada donde va alojado el cable de conexión. Se trata de una bobina que puede girar en ambos sentidos para extender o recoger el cable hacia el muelle. Este carretón va anclado en la cubierta del barco para impedir que se desplace durante las travesías por mar o durante las maniobras de extendido y recogida del cable.
- Cable. Es el cable que se conecta a un sistema OPS o “Cold Ironing” o a un sistema OGSP. Se trata de un cable trifásico especialmente diseñado para soportar las tensiones máximas y la potencia máxima que se suministra desde el puerto. A continuación se puede ver un ejemplo de un cable utilizado para tales fines.

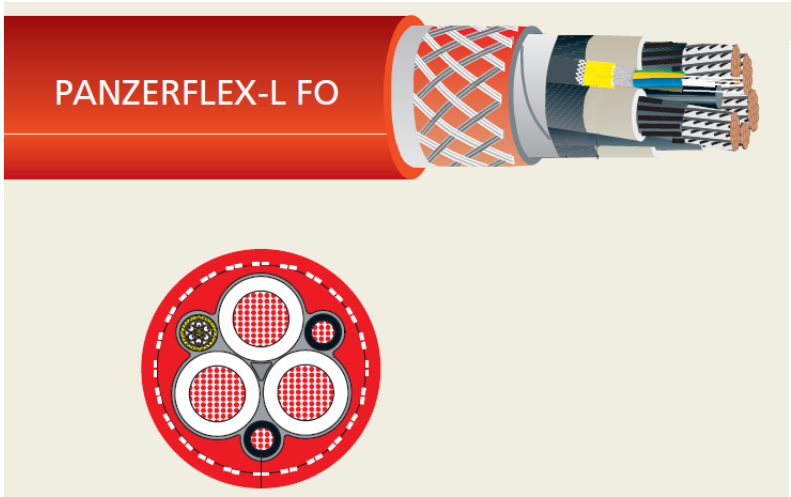


Figura 18 - Ejemplo de cable trifásico de Cavotec

- Brazo extensor. Se trata de un pequeño brazo acoplado al carretón que tiene una doble finalidad. Por un lado sirve para guiar el cable, es decir, obliga al cable a extenderse y enrollarse por el mismo sitio. Por otro lado sirve para separar el cable del barco para acercarlo lo máximo posible al muelle, haciendo que las labores de conexión sean más rápidas y sencillas.
- Conector. Este conector es la terminación del cable. Se trata de un dispositivo que permite un conexionado/desconexionado rápido y seguro, además de facilitar el enclavamiento del mismo. Suele estar protegido por un sistema que impide que se moje el conector, con lo que se evitan problemas debidos a que los conectores estén mojados. Se puede ver un ejemplo de este sistema de aislamiento en la siguiente imagen.

Figura 19 - Conectores de Cavotec para cables eléctricos (izquierda) y cables con aislantes de los conectores de un cable de conexión desplegados desde un buque portacontenedores

Esta es una descripción básica de los componentes necesarios que deben ser montados en un buque para el despliegue de un cable umbilical que conecte el sistema eléctrico del buque con un sistema OPS o “Cold Ironing” o un sistema OGSP desplegado en el muelle. A continuación se muestran unas imágenes de un esquema y un sistema de estas características montado en un buque real.

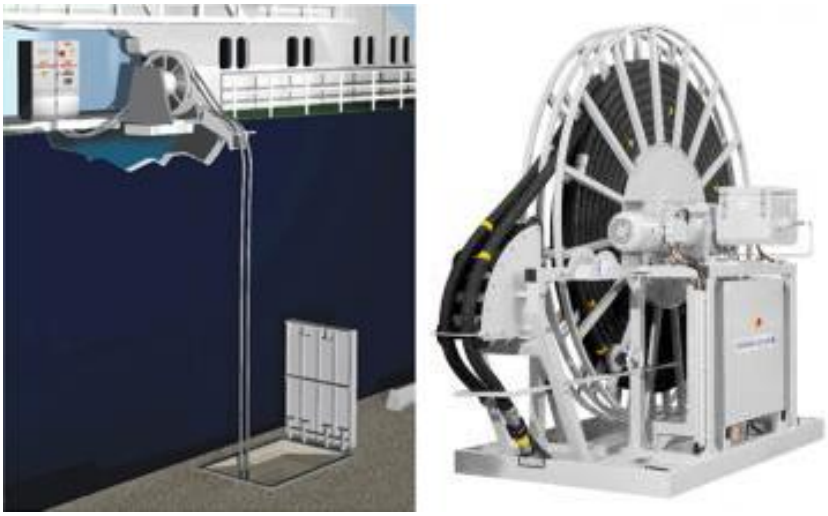


Figura 20 - Sistema real montado en un buque (izquierda) y un esquema de un sistema de carretón (derecha)

C) Localización a bordo del sistema de gestión del cable de conexión

Analizando las características del buque se ha llegado a la conclusión de que el sistema deberá ir alojado cerca de la chimenea del buque. Esto se debe a que la chimenea es el único camino disponible para hacer llegar los cables eléctricos hasta el sistema general eléctrico del barco sin que con ello se vean afectadas las zonas de carga.

Este sistema de carretón es compatible con un sistema OPS o "Cold Ironing" o con un sistema OGSP. La única diferencia sería la orientación del mismo. En el caso del terminal RORO de Bouzas (Vigo), la "parte tierra" queda a estribor mientras que "lado mar" queda a babor. Esto provoca que según sea la elección de uno u otro sistema el sistema de manejo de cable deba ser instalado a babor o a estribor. A continuación se hace una breve descripción de estas diferencias.

El sistema OPS o "Cold Ironing" propuesto por Schneider Electric es un sistema en baja tensión (400 V) por lo que no es necesario instalar ningún sistema de adaptación de los niveles de tensión a bordo. Ello implica que las únicas modificaciones que se requieren a bordo son la instalación de un sistema de manejo de cable como los ya mencionados y un sistema de sincronización para hacer el cambio de la generación autónoma con generadores a sistema de suministro de energía eléctrica exterior.

Como se comentó previamente, el sistema OPS se instalará en la "parte tierra" del muelle, es decir, el sistema de conexión con el sistema OPS se encontrará a estribor del barco. Por ello es necesario ubicar este sistema de manejo de cable en la parte de estribor del barco.

Analizando la estructura del barco, se ha hecho un pequeño esquema de donde irá ubicado este sistema de manejo de cable. El siguiente esquema ilustra este esquema.

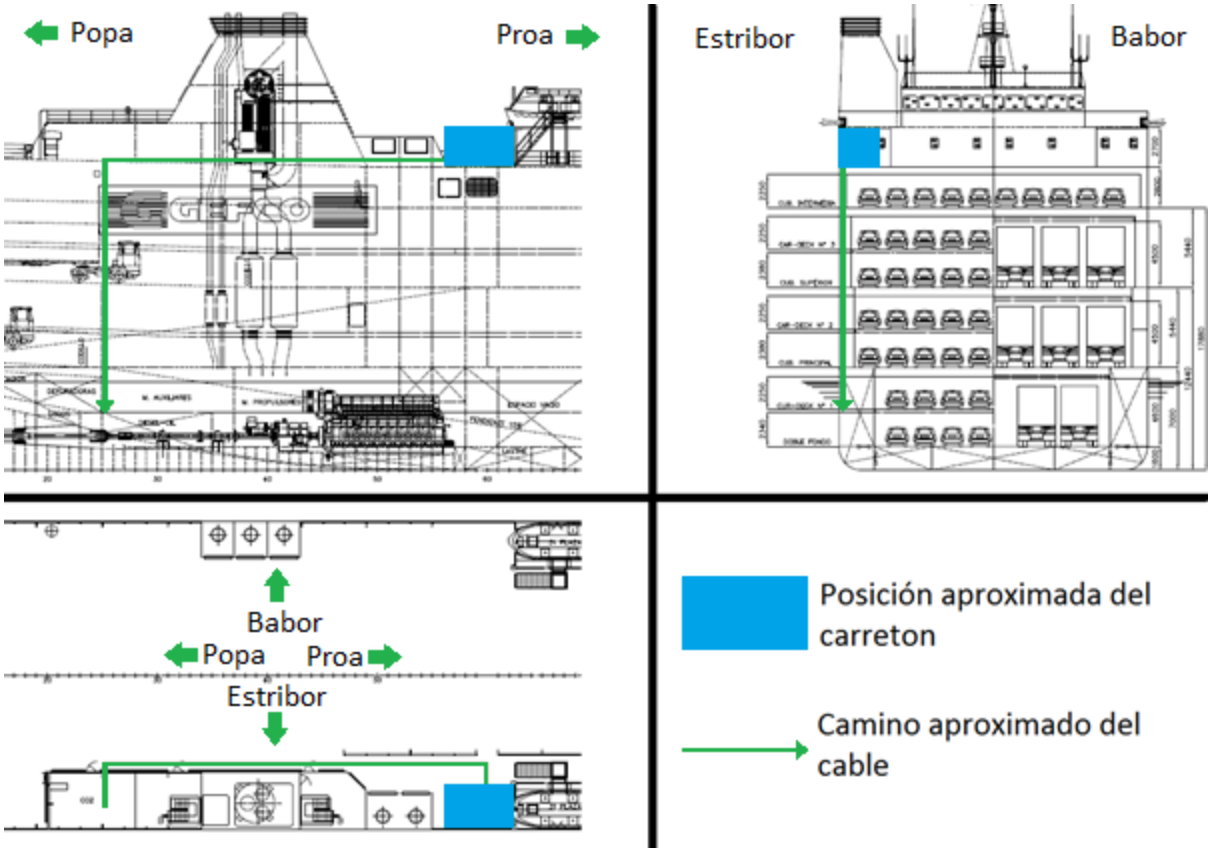


Figura 21 - Diagrama aproximado de la instalación de un carretón automatizado y la distribución a través del barco para un sistema OPS

D) Costes de adaptación de los dos buques de Suardiaz

A continuación, se muestra una tabla con los costes estimados de adaptación de los dos buques de Suardiaz ("L'Audace" y "La Surprise") de la MoS para un sistema OPS.

Coste de la adaptación de los buques de Suardiaz					
Cocepto	Cantidad		Precio/Unidad		Total en €
Conectores	1	set	1.048,00 €		1.048,00 €
Contactores y seccionadores	1	pcs	4.250,00 €		4.250,00 €
Sistema de sincronización	1	set	23.000,00 €		23.000,00 €
Sistema de control a bordo	1	set	3.447,00 €		3.447,00 €
Carrete motorizado	1	pcs	5.319,93 €		5.319,93 €
Plataforma para el carrete	1	pcs	7.733,09 €		7.733,09 €
Espiral para el carrete para cable de 400 V	1	pcs	27.632,00 €		27.632,00 €
Motorización para el carrete	1	pcs	6.649,91 €		6.649,91 €
				SUBTOTAL	79.079,93 €

Coste de Material	79.079,93 €
Costes de homologación	29.000,00 €
Otros costes	58.000,00 €
Coste total por buque	166.079,93 €

Número de buques	2

COSTE TOTAL	332.159,86 €

Tabla 6 - Tabla de costes de la adaptación de los dos buques de Suardiaz para hacerlos compatibles con un sistema OPS

V. Evaluación financiera y económico-social

Este apartado recoge la valoración del consumo de energía eléctrica frente al consumo de fuel a los precios de casi 14 c€/kWh y 375 $/ton respectivamente. El precio de la electricidad incluye el de generación, peajes de acceso a la red, penalizaciones por exceso de potencia y de reactiva, comercialización e impuesto eléctrico.

Además, se tiene en cuenta el ahorro en desgaste y mantenimiento de los motores auxiliares que van a estar apagados durante el tiempo que los buques están conectados a la red; el coste se ha estimado en 1,6 Euros/hora y motor.

Por otra parte, a partir de la estimación de la inversión necesaria en el muelle y a bordo ya descrita en los dos apartados anteriores, se computa un gasto anual en concepto de amortización e intereses al 6 % y en 10 años respectivamente.

Dichos tres conceptos: consumo, ahorro en funcionamiento de motores auxiliares y repercusión de la inversión, determinan el total de gasto financiero del sistema OPS que hay que comparar con el suministro con MGO tal y como viene haciéndose.

Como puede verse en el cuadro de resultados más abajo, la comparación no es favorable -al nivel de precios relativos vigente- al sistema OPS pues suministrar con MGO es más barato.

No obstante, este gap financiero se mejora cuando se computa las posibles ayudas correspondientes a una cofinanciación pública de la inversión del 50 % y a la bonificación del 50 % sobre el importe de la estadía de los buques en puerto; esta bonificación es otorgada por las Autoridades Portuarias en virtud de la correspondiente prescripción legal a los buques que se conectan a la red eléctrica y apagan sus motores auxiliares mientras están atracados. [2]

Por otra parte, también se ha estimado el coste externo debido a las emisiones de CO_2, SOx, NOx y partículas (PM) así como a la contaminación sonora. En este apartado, se han computado no sólo las emisiones producidas por consumo de MGO por los motores auxiliares en la ubicación actual, sino también las producidas por la generación en origen de la electricidad tomando el mix español.

[2] De acuerdo con la Ley 48/2015 de Presupuestos Generales del Estado para el 2016, en la que se mantiene el 50% de reducción en las tasas portuarias para 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.

DATOS DE PARTIDA		
Conexiones en el muelle	2	ud
Buques	2	ud
Número de escalas por buque en Vigo	78	ud
Estancia media en atraque en Vigo	24	h
Ocupación del muelle por buque	21,37%	%
Tiempo conectado a OPS	3.744	horas

RESULTADOS		FUEL	OPS
			Euros
Inversión total			1.316.265,86 €
		Euros	Euros
Coste anual		411.323,30 €	411.213,61 €
	Amortización	- €	115.744,55 €
	Operacional	280.493,40 €	285.437,46 €
	Emisiones	121.429,90 €	10.031,60 €
	Ruido	9.400,00 €	- €
		Tons	KWh
Consumo		463,08	1.758.333
Reducción de la contaminación			Tons
	CO2		1.067
	SOx		0,48
	NOx		21,60
	PM		0,117

Los cálculos son los siguientes:

CÁLCULOS	FUEL	OPS
Inversión en muelle		
Material y mano de obra		218.373,10 €
Project Management		18.944,80 €
Seguros y garantías		20.458,40 €
Conexión con la red nacional y cableado		688.537,10 €
Conexión de la subestación con el muelle y conexiones		37.793,25 €
Inversión total		984.106,65 €
Inversión subvencionada		492.053,33 €
Coste anual inversión		66.854,28 €
Mantenimiento y otros (2% s/inversión)		19.682,13 €
Gasto anual en el muelle		86.536,41 €
Inversión en buque		
Transformador		- €
Panel de Control		3.447,00 €
Cableado		1.048,00 €
LVS modificación y sincronización		27.250,00 €
Sistema de manejo de cables		47.334,93 €
Costes de homologación		29.000,00 €
Otros costes		58.000,00 €
Inversión total por buque		166.079,93 €
Inversión total		332.159,86 €
Inversión subvencionada		166.079,93 €
Coste anual inversión		22.564,94 €
Mantenimiento y otros (2% s/inversión)		6.643,20 €
Gasto anual en el buque		29.208,14 €
Combustible		
	Tons/h	KW
Consumos medios	0,124	500
	Tons	KWh
Consumo anual de combustible	463,08	1.758.333
Gasto anual de combustible	155.131,80 €	234.737,46 €
Desgaste de los motores		
Número de motores auxiliares por buque	2	
Gasto por motor y hora	1,60 €	
Desgaste anual	23.961,60 €	
Tasa T-1	101.400,00 €	50.700,00 €
Coste operacional	280.493,40 €	285.437,46 €

Polución emisiones a la atmósfera		FUEL	OPS
Estimación cantidades		Tons	Tons
	CO2	1.430,59	363,56
	SOx	0,99	0,50
	NOx	22,20	0,64
	PM	0,15	0,03
Estimación del coste externo		Tons	Tons
	CO2	14.305,90	3.635,60
	SOx	5.544,00	2.800,00
	NOx	97.680,00	2.816,00
	PM	3.900,00	780,00
	TOTAL	121.429,90	10.031,60
Contaminación sonora			
Población afectada (personas)		1000	
Reducción de ruido en dB(A)		1	
	Suma	9.400,00 €	- €

Finalmente, los cálculos están basados en los siguientes datos de partida:

DATOS BASE DE LOS CÁLCULOS			
INVERSIÓN			
Tasa de interés		6	%
Periodo de amortización		10	años
PRECIOS			
Fuel	Bajo	Medio	Alto
US $/ton MGO 0,1% S	375	500	625
Cambio €/$	0,893		
Electricidad			
Precio de generación		4,70	c€/KWh
Precio acceso		6,50	c€/KWh
Recargo exceso potencia		-	c€/KWh
Recargo exceso reactiva		-	c€/KWh
Precio comercialización		1,50	c€/KWh
Impuesto eléctrico	5,11269632%	0,65	
	TOTAL PRECIO	13,35	c€/KWh
COSTE EMISIONES[3]			
	CO2	10	€/Ton
	SOx	5.600	€/Ton
	NOx	4.400	€/Ton
	PM	26.000	€/Ton
COSTE RUIDO			
Coste del ruido al año		9,4	€/dB/h

[3] AEA Technology Environment (2005), Damages per tonne emission of $PM_{2.5}$, NH_3, SO_2, NO_x, and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding areas.

FACTORES DE EMISIÓN

Fuel

g/Kg	<1995	1995-1999	Tier 1	Tier 2	Upstream
CO2	3170	3170	3170	3170	713
SOx	2	2	2	2	2
NOx	74	59	49	39	1,4
PM	1,3	0,8	0,8	0,8	0,15

Electricidad

Factor de emisiones según fuente de generación

g/Kg	GN	Carbón	Renovables	Fuel	Nuclear
CO2	394,00	911,60	0	683,30	
SOx	0,00	1,70	0	1,80	
NOx	0,30	1,80	0	2,50	
PM	0,00	1,00	0	0,80	

Mix producción eléctrica en España (%)

15,8	14,6	40,4	2,62	21

Factor de emisiones electricidad España

g/KWh	
CO2	213,2
SOx	0,295
NOx	0,375
PM	0,167

Obviamente los resultados de esta estimación podrían mejorarse cuando se asumieran unas hipótesis más favorables como, por ejemplo:

- La tasa de ocupación de las conexiones fuera superior, el consumo eléctrico se elevara, o el consumo se produjera en los períodos “valle”.

- El precio del MGO subiera o el precio de adquisición o los peajes de acceso a la energía eléctrica fuera más económico.

- El valor de adquisición de los equipos fuera más reducido.

- El coste externo de la huella de carbono no fuera el de mercado sino uno superior a medio-largo plazo; ídem respecto de la valoración de las emisiones y la contaminación sonora.

VI. Conclusiones

- El suministro de electricidad a los buques gemelos Ro-Ro L'AUDACE y LA SURPRISE de la autopista del mar establecida entre Vigo y Saint-Nazaire durante su estancia en los atraques números 5 y 6 de la Dársena de Bauzas es viable técnicamente.

- La solución considerada optima pasa por conectar a los buques en baja tensión y disponer sendas unidades transformadoras o armarios compactos cerca del muelle donde se baja la tensión desde 15 KV de la red a los 400 V en los que ya se distribuye interiormente por los buques.

- Esta solución pasa -en este caso- por mantener el cable de conexión a bordo que será descolgado mediante un carretón automático para su conexión en tierra en las arquetas dispuestas a tal fin.

- El suministro eléctrico no es atractivo a los niveles de precios relativos del MDO y la electricidad.

- Considerando la inversión a un tipo de interés del 6 % amortizable en 10 años, sólo en el caso de que se cuente con una subvención del 50 % y se contabilicen los costes externos debidos a las emisiones y la contaminación sonora, la decisión de instalar y poner en funcionamiento un sistema OPS es socio-económicamente viable.

- Las estimaciones anteriores se han efectuado contando -como ingreso corriente- la bonificación del 50 % sobre el importe de la estadía de los buques en puerto; esta bonificación es otorgada por las Autoridades Portuarias en virtud de la correspondiente prescripción legal a los buques que se conectan a la red eléctrica y apagan sus motores auxiliares mientras están atracados.

VII. Bibliografía

- Información específica proporcionada por la Autoridad Portuaria de Vigo, la naviera Suardíaz y Schneider Electric.

- Estudio OPTIMOS: *Estudio del uso de combustibles limpios y sistemas con bajo contenido de azufre en la Autopista del Mar entre Vigo y Nantes Saint-Nazaire*. Co-financiado por la Unión Europea en el marco del proyecto ATLANTICA OPTIMOS (2013-EU-21009-P).

- Proyecto TEFLES: *Technologies and Scenario Models for Low Emissions Short Sea Shipping*, cofinanciado por la Unión Europea dentro de FP7 – THEME 7 – Transport (Grant Agreement Number 266126).

- Proyecto GPEC (Green Port Energy Center): FEDER – INNTERCONECTA 2013.

- RECURSOS WEB:
  - Bunkerworld.com
  - https://www.esios.ree.es/es
  - http://www.apxgroup.com/
  -

- LEGISLACIÓN:
  - Real Decreto Legislativo 2/2011 por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.
  - Ley 36/2014. Presupuestos Generales del Estado para 2015.
  - Ley 48/2015. Presupuestos Generales del Estado para 2016.
  - Orden IET/2735/2015 por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2016 y se aprueban determinadas instalaciones tipo y parámetros retributivos de instalaciones de producción de energía eléctrica.
  - Orden IET/2444/2014 por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2015.
  - Real Decreto 1164/2001, por el que se establecen las tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
  - Ley 24/2013 por la que se regula el sector eléctrico (incluyendo la producción de energía eléctrica).

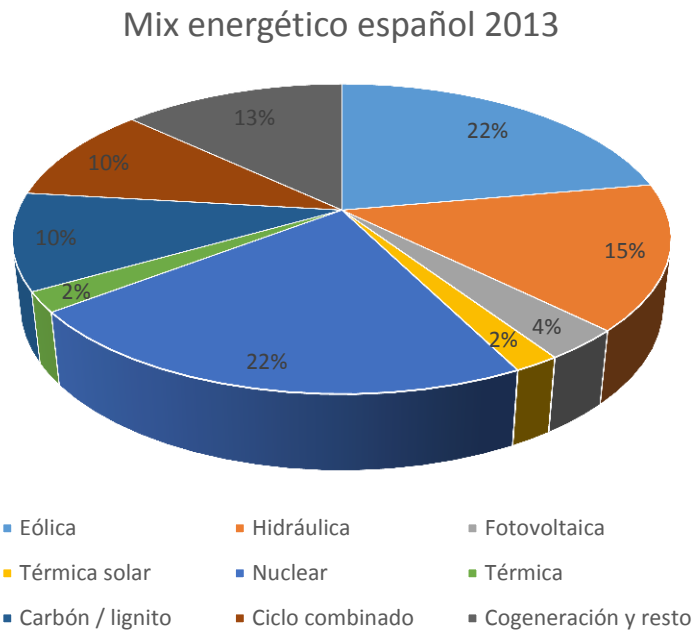
- OTRAS FUENTES:
  - AEA Technology Environment (2005), Damages per tonne emission of $PM_{2.5}$, NH_3, SO_2, NO_x, and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding areas.

Anexo I: Impacto energético – ambiental

El impacto impacto de cada solución tecnológica depende de la eficiencia energética de los equipos (motor auxiliar, eficiencia del sistema eléctrico nacional, eficiencia del motor de gas del sistema OGSP) y el tipo de combustible usado (MGO, electricidad, gas natural).

El impacto medioambiental para cada opción se estima calculando las emisiones de CO_2, SO_x, NO_x, y PM.

Para las emisiones derivadas al uso de electricidad generada en el sistema eléctrico, se analizó el mix energético y los factores de emisión de las distintas fuentes de generación eléctrica usadas en el sistema eléctrico español:



	SOX (g/kWh)	NOX (g/kWh)	CO_2 (g/kWh)	PM (g/kWh)
Carbón	1,7	1,8	911,6	1
Petróleo	1,8	2,5	683,3	0,8
Gas	0	0,3	394	0
Nuclear	0	0	0	0
RES	0	0	0	0

Figura 222 - Mix eléctrico español (izquierda) y factores de emisión de distintos tecnologías de generación eléctrica (derecha) (fuentes: REE, www2.cec.org, UK greenhouse gas inventory 1999 to 2000, Digest of UK Energy Statistics 2011)

Anexo II: Tarificación eléctrica

Actualmente el mercado eléctrico tiene liberalizada la generación y la comercialización, estando los costes de la distribución regulados mediante peajes.

Peajes de acceso a la red eléctrica

En función de la potencia y el nivel de tensión que sea requerida por una instalación eléctrica, se puede acoger a una u otra modalidad de tarificación de los **peajes**.

En la Tabla siguiente se muestran las características de las **tarifas o peajes de acceso** en Baja Tensión.

TARIFA	2.0A	2.0DHA	2.0DHS	2.1A	2.1DHA	2.1DHS	3.0A
TENSIÓN	< 1 kV	< 1 kV	< 1 kV	< 1 kV	< 1 kV	< 1 kV	< 1 kV
POTENCIA	<=10	<=10	<=10	>10kW y <=15kW	>10kW y <=15kW	>10kW y <=15kW	Sin Restricción
PERIODOS	1	2	3	1	2	3	3

En la Tabla siguiente se muestran las características de las **tarifas o peajes de acceso** en Alta Tensión.

TARIFA	3.1A	6.1A	6.1B	6.2	6.3	6.4	6.5
TENSIÓN	>= 1 kV y < 36 kV	>= 1 kV y < 30 kV	>= 30 kV < 36 kV	>= 36kV < 72 kV	>= 72,5 < 145 kV	>=145 kV	Conexiones internacionales
POTENCIA	<=450 kW	> 450 kW	> 450 kW	Sin Restricción	Sin Restricción	Sin Restricción	Sin Restricción
PERIODOS	3	6	6	6	6	6	6

Figura 23 - Tabla con las diferentes tarifas eléctricas y las características para su contratación

Para el caso que nos ocupa, es decir, la instalación de un sistema OPS, dada la potencia necesaria y los niveles de tensión que se necesitan a la entrada del sistema que se propone en este estudio, la tarifa que más se ajusta a las necesidades de este sistema de "Cold Ironing" es la tarifa 6.1A, ya que está pensada para un suministro de energía por encima de los 450 kW con una tensión de entrada de entre 1 kV y 30 kV, es decir, alta tensión.

La orden IET/2735/2015 por la que se determinan los peajes de acceso de energía eléctrica para 2016, las cual indica que para la tarifa 6.1A no hay modificación con respecto a la orden IET/2444/2014 (Artículo 2, b del IET/2735/2015). Esta orden ministerial regula la estructura de los cargos por costes regulados y de los peajes correspondientes al uso de redes de transporte y distribución. A continuación, se muestra un extracto de dicha orden ministerial donde se recogen los precios de acceso a la red eléctrica nacional.

ANEXO I

1. Precios de los términos de potencia y términos de energía activa, de los peajes de acceso 6.1A y 6.1B definidos en el Real Decreto 1164/2001, de 26 de diciembre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

Términos de potencia

€/KW y año

Peaje	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6
6.1A	39,139427	19,586654	14,334178	14,334178	14,334178	6,540177
6.1B	33,237522	16,633145	12,172701	12,172701	12,172701	5,553974

Términos de energía

€/KWh

Peaje	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6
6.1A	0,026674	0,019921	0,010615	0,005283	0,003411	0,002137
6.1B	0,023381	0,017462	0,009306	0,004631	0,002990	0,001871

2. Los precios unitarios para la financiación de los pagos por capacidad regulados en el anexo III de la Orden ITC/2794/2007, de 27 de septiembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de octubre de 2007, aplicables por la energía adquirida por clientes, 6.1A y 6.1B definidos en el Real Decreto 1164/2001, de 26 de diciembre, toman los siguientes valores expresados en euros/kWh:

Peajes de acceso	Precio unitario para la financiación de los pagos por capacidad. Euro/kWh (b.c.)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
6.1A (1 kV a 30 kV)	0,013630	0,006291	0,004193	0,003145	0,003145	0,000000
6.1B (30 kV a 36 kV)	0,013630	0,006291	0,004193	0,003145	0,003145	0,000000

Figura 24 - Extracto del Anexo I del IET/2444/2014 donde se fijan los precios ATR de la tarifa 6.1A

Estos gastos son pagados por la empresa distribuidora, pero se repercuten en el consumidor final, bien sea por el pago directo de estos peajes de acceso o bien ya incluidos en el precio al que se cobra la energía eléctrica. Esto depende del acuerdo al que se llegue con la compañía suministradora de energía.

Además, también existen variables como el exceso de potencia o el exceso de consumo de energía reactiva, que se vería reflejado en la factura eléctrica según las clausulas firmadas por el contrato entre el suministrador y consumidor.

Pues bien, dado que los peajes dependen del período en que los buques están conectados y que la estadía de éstos es de 24 horas, ha resultado sencillo el cálculo de los mismos mediante simple adición de todos ellos establecidos para los 6 períodos del día.

Por otra parte, la potencia contratada se ha estimado en 1 MW.

Coste de adquisición

Reino Unido, Holanda y Bélgica comparten un operador del mercado eléctrico (ver http://www.apxgroup.com/) al igual que España y Portuga. También Nord Pool Spot lo hace en los países nórdicos, EPEXSpot en Francia, Alemania y otros países de Centroeuropa o GME en Italia.

El mercado diario y el intradiario están gestionados por OMIE. OMIE proporciona los precios horarios de un registro histórico importante, y se puede calcular el precio horario como media de los 365 días del año 2015, por ejemplo. Así a partir de los datos de la nueva web pública del Operador del Sistema REE que se llama e·sios (https://www.esios.ree.es/es) se pueden obtener los precios de la electricidad en cada hora durante el pasado año 2015:

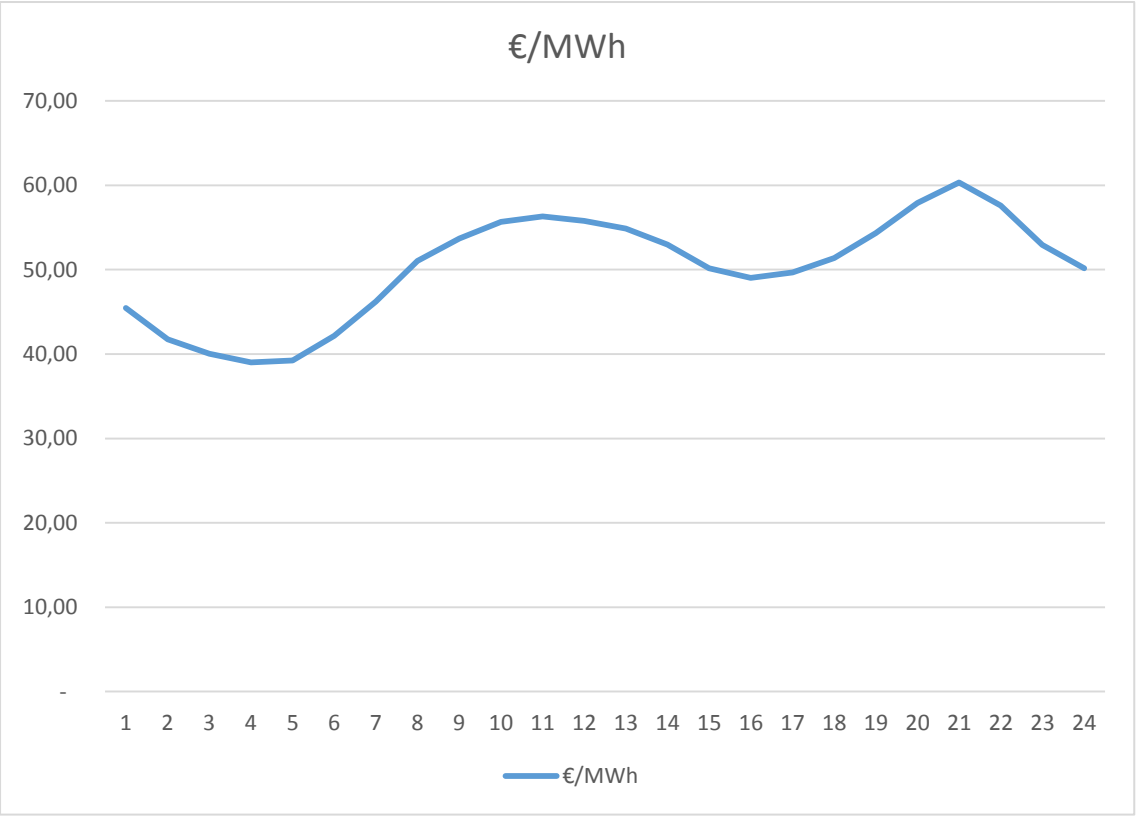


Figura 25 – Precios de la electricidad en cada hora (año 2015).

Por otra parte, el mercado ibérico de electricidad lo componen los mercados a plazo que son gestionados por OMI-Polo Portugués SGMR (OMIP). A continuación se muestran los precios forward de los tres años siguientes:

	Base	Peak
YR-17	40,65	46,16
YR-18	40,75	46,26
YR-19	40,75	46,24

Anexo III: Precio del MGO

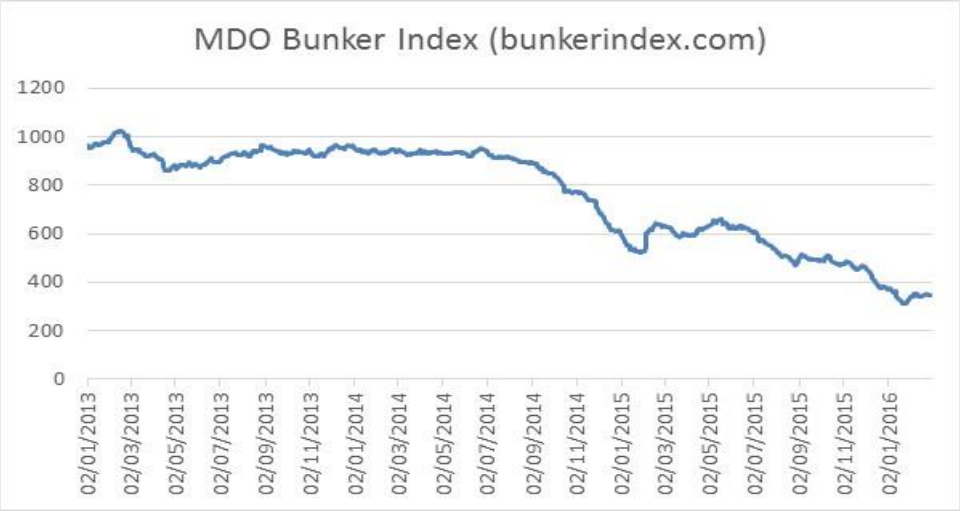


Figura 26 – Histórico de precios de MDO.

Anexo IV: Sistema alternative Off-Grid Shore Power (OGSP)

Para esta solución se ha propuesto que el sistema OGSP trabaje a una tensión similar a la que utilizan los sistemas OPS de alta tensión, en este caso 6,6 kV. Esto implica que además del sistema de manejo de cables sea necesaria la instalación de un transformador a bordo para adaptar los niveles de tensión y hacerlos compatibles con los sistemas eléctricos a bordo.

Este sistema constaría de un pequeño transformador reductor para pasar de los 6,6 kV que suministra el OGSP a los 400 V del sistema del buque. Además, se necesitarían los correspondientes sistemas de sincronización y control del propio buque del mismo modo que si se hiciese en baja tensión. Se ha elegido esta solución para hacer compatible este sistema con otros ya instalados en otros puntos de Europa.

A diferencia del sistema OPS, el sistema OGSP se conecta al buque desde el "lado mar" que en este caso coincide con el lado de babor del buque. Por ello la disposición con respecto a la propuesta del OPS es diferente. En este caso el sistema se conectaría siguiendo el esquema que se muestra a continuación.

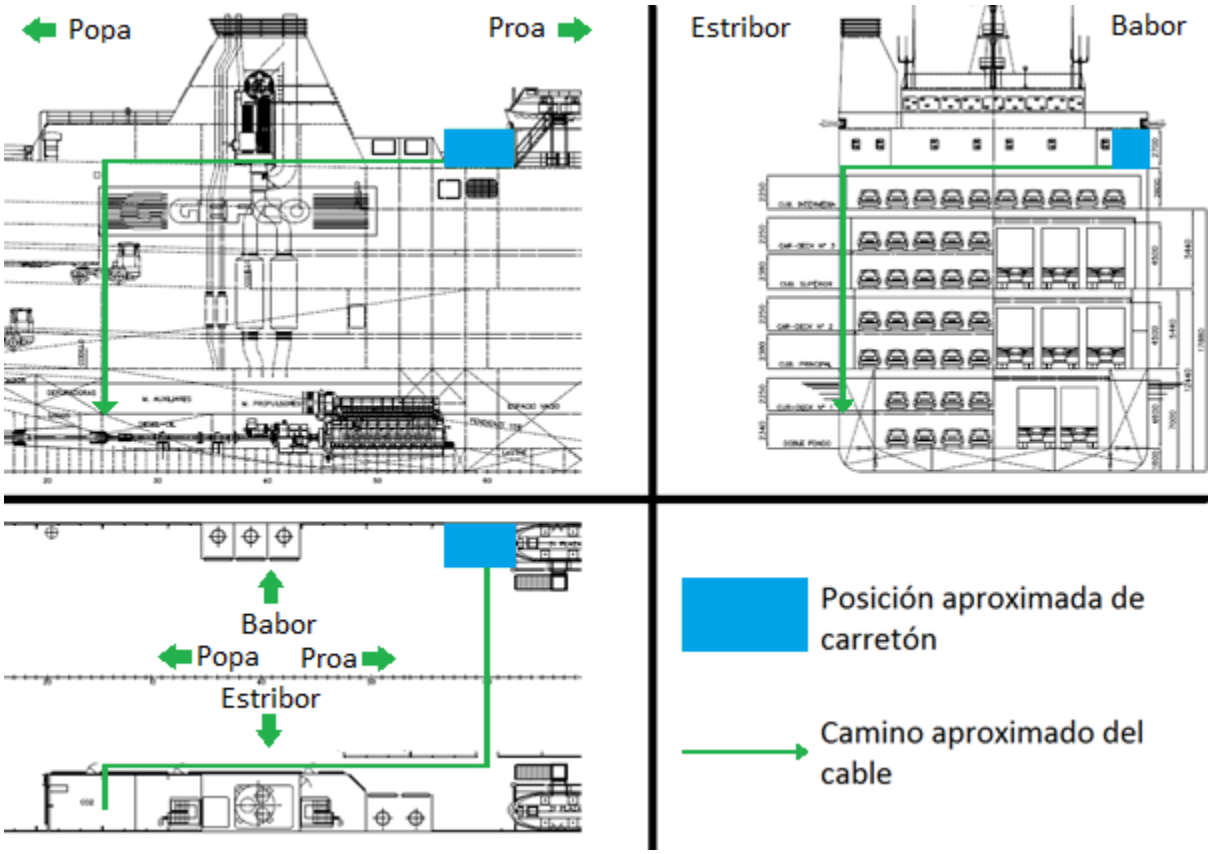


Figura 237 - Diagrama aproximado de la instalación de un carretón automatizado y la distribución a través del barco para un sistema OGSP

Además de los cables, en el caso de los sistemas OGSP, es necesario tener en cuenta las mangueras. Las mangueras son las encargadas de suministrar el fluido térmico al buque por lo que también es necesario desplegarlas desde el propio buque, del mismo modo que los cables. Estas mangueras están específicamente diseñadas para minimizar las pérdidas térmicas por diferencia de temperatura con el exterior. Estas mangueras térmicas, correrían por las mismas canalizaciones de los cables eléctricos y proporcionarían energía térmica al buque. Los conectores para estas

mangueras serían unos conectores estancos de montaje/desmontaje rápido. A continuación, se puede observar un esquema de la manguera y una imagen de estos conectores.

Figura 248 - Esquema de una manguera aislada para transmisión de energía térmica (izquierda) y conector estanco de conexión desconexión rápida (derecha)

Para aprovechar esta energía térmica, también es necesario instalar un sistema intercambiador de calor en el propio sistema térmico del buque, así como una bomba de recirculación para mover este fluido térmico. En la siguiente imagen se puede observar un sistema intercambiador de calor instalado durante las pruebas del prototipo de OGSP.

Figura 259 - Intercambiador de calor (izquierda) y bomba de recirculación (derecha)

Apéndice: Costes de adaptación de los dos buques

A continuación, se muestra una tabla con los costes estimados de adaptación de los dos buques de Suardiaz ("L'Audace" y "La Surprise") de la MoS para un sistema OGSP.

Installation of a GPEC System at the Bouzas Terminal					
GPEC					
Concept	Quantity		Price/Unity		Total in €
GPEC System	1	pcs	1.000.000,00 €		1.000.000,00 €
Barge to move the GPEC system	1	pcs	424.521,91 €		424.521,91 €
				SUBTOTAL	1.424.521,91 €

GPEC	1.424.521,91 €
TOTAL COST	1.424.521,91 €

Tabla 7 - Tabla de costes de la adaptación de los dos buques de Suardiaz para hacerlos compatibles con un sistema OGSP

Costes de adaptación de los dos buques

A continuación se muestra una tabla con los costes estimados de adaptación de los dos buques de Suardiaz ("L'Audace" y "La Surprise") de la MoS para un sistema OGSP.

Retrofit Suardiaz Vessels					
Electric System					
Concept	Quantity		Price/Unity		Total in €
Transformer 1250 kVA 11kV/400V	1	pcs	18.255,00 €		18.255,00 €
Sockets	1	set	1.048,00 €		1.048,00 €
Switchgear and breaker	1	pcs	4.250,00 €		4.250,00 €
Transformer compartment	1	pcs	6.688,00 €		6.688,00 €
Syncronize System	1	set	23.000,00 €		23.000,00 €
Control Equipment On-Board	1	set	3.447,00 €		3.447,00 €
				SUBTOTAL	56.688,00 €
Thermal System					
Concept	Quantity		Price/Unity		Total in €
Intercooler system	1	set	16.000,00 €		16.000,00 €
Fluid Material	1		24.000,00 €		24.000,00 €
Fluid Storage System	1	set	12.000,00 €		12.000,00 €
				SUBTOTAL	52.000,00 €
Cable and Hoses Handle System					
Concept	Quantity		Price/Unity		Total in €
Cable Festoon System	2	pcs	5.319,93 €		10.639,86 €
Cable Reel Platform	2	pcs	7.733,09 €		15.466,18 €
Mono Spiral Cable Reel w/ 11 kV Cable	2	pcs	27.632,00 €		55.264,00 €
Double Spiral Hose Reel w/ Hoses	2	pcs	28.500,00 €		57.000,00 €
Cable Reel Turntable	2	pcs	6.649,91 €		13.299,82 €
				SUBTOTAL	151.669,86 €

Electric System	56.688,00 €
Thermal System	52.000,00 €
Cable and Hoses Handle System	151.669,86 €
Total Material Cost	260.357,86 €

Material Costs	260.357,86 €
Clasification Costs	40.000,00 €
Other costs	75.000,00 €
Total Cost per Vessel	375.357,86 €

Number of Vessels	2

TOTAL COSTS	750.715,72 €

Tabla 83 - Tabla de costes de la adaptación de los dos buques de Suardiaz para hacerlos compatibles con un sistema OGSP