



# **COLD IRONING EN CANARIAS**

Universidad de La Laguna

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Sección de  
Puente Maquinas y Radioelectrónica Naval

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Autor: Javier Dorta Herrera

Tutor: José Agustín González Almeida

La Laguna, Julio 2020



D. José Agustín González Almeida, Profesor de la UD de Ingeniería Marítima, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna certifica que:

D, Javier Dorta Herrera, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: "COLD IRONING EN CANARIAS".

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente Certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 9 de junio de 2019.

Fdo.: José Agustín González Almeida.

Director del trabajo.



# Índice

Índice de ilustraciones .....	5
Índice de tablas.....	7
Acrónimos.....	8
Resumen .....	9
Abstract .....	10
Objetivos.....	11
Introducción .....	12
Antecedentes.....	13
Emisiones .....	14
Emisiones en puerto.....	15
Legislación sobre las emisiones .....	16
Alternativas .....	18
Metodología.....	20
Preparación y recopilación de información .....	20
Elaboración del trabajo.....	20
Cold Ironing .....	22
Reducción de emisiones .....	22
Reducción de ruidos y vibraciones .....	23
Puertos deportivos .....	24
Requerimientos en infraestructura portuaria.....	25
Viabilidad del sistema .....	27
Demanda de potencia eléctrica de buques en puerto.....	27
Valores de tensión.....	28
Compatibilidad de frecuencia eléctrica .....	30
Conexión muelle – buque.....	32
Casos de Cold Ironing .....	34



Puerto de Gotemburgo.....	34
OPS Master Plan for Spanish Ports .....	37
Bonificación por uso de Cold Ironing .....	39
Puerto de Melilla .....	39
Cold Ironing en Canarias .....	41
Cold Ironing en el puerto de Santa Cruz de Tenerife .....	44
Antecedentes .....	44
Configuración del puerto .....	44
Demanda eléctrica .....	46
Pantalán de Anaga.....	47
Muelle Ribera I.....	48
Sistema de Seguridad y Control.....	49
Reforma eléctrica para cada tipo de buque .....	49
Cálculo de reducción de emisiones .....	50
Análisis de rentabilidad .....	51
Conclusiones .....	53
Conclusions .....	54
Referencias .....	55
Anexos .....	58
1. Coste de la energía eléctrica en un puerto .....	58
2. Coste instalación eléctrica de puertos de Santa Cruz de Tenerife.....	59
3. Coste instalación eléctrica de Las Palmas. ....	60
4. Planta General Puerto Santa Cruz. Canalizaciones y distribución eléctrica.....	61
5. Planta Pantalán de Anaga. Canalizaciones y distribución eléctrica .....	62
6. Planta Muelle Ribera I. Canalizaciones y distribución eléctrica. ....	63
7. Análisis de rentabilidad .....	64
8. Petición de información sobre proyectos .....	69



# Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Flota mercante mundial por tipos de buque a 1 de enero de 2018. Fuente: anave.es.....	13
Ilustración 2. Crecimiento de la ciudad de Shenzhen. Fuente: cgtn.com.....	14
Ilustración 3. Emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global por sectores económicos. Fuente: epa.gov .....	15
Ilustración 4. Anexo VI del MARPOL: reglas para prevenir la contaminación atmosférica. Fuente: ingenieromarino.com .....	17
Ilustración 5. Ubicación de las zonas ECA establecidas por la OMI. Fuente: puertos.es .....	18
Ilustración 6. Torreta de suministro eléctrico en un puerto deportivo. Fuente: nauticexpo.es .....	25
Ilustración 7. Configuración típica de un sistema de conexión eléctrica para suministro a buques. Fuente: puertos.es (11) .....	26
Ilustración 8. Configuración de un sistema de suministros eléctrico en un puerto de contenedores. Fuente: Ericsson & Fazlagic (2008) (14).....	29
Ilustración 9. Tipos de frecuencias utilizadas en el mundo. Fuente: researchgate.net	30
Ilustración 10. Descripción de los bloques del sistema OPS con convertidor de frecuencia. Fuente: poweratberth.eu (16) .....	31
Ilustración 11. Cajas de conexión. (a) Vertical (b) Enterrada. Fuente: poweratberth.eu (16) .....	32
Ilustración 12. Grúas de elevación (a) Base fija (b) Base móvil. Fuente: poweratberth.eu (16) .....	33
Ilustración 13. Conexión de buque (a) A bordo (b) En el muelle. Fuente: poweratberth.eu (16) .....	33
Ilustración 14. Instalación Cold Ironing en el puerto de Gotemburgo en 1989. Caseta con el transformador y cableado conectado al Stena Scandinavica. Fuente: chalmers.se (14) .....	35
Ilustración 15. Conexión OPS en el puerto de Gotemburgo (2000). Fuente: chalmers.se (14) .....	35



Ilustración 16. Mapa del puerto de Gotemburgo con los puntos de suministro OPS marcados con círculo azul. Fuente: poweratberth.eu (16).....	36
Ilustración 17. Logo del proyecto OPS Master Plan. Fuente: poweratberth.eu (18) ....	37
Ilustración 18. Mapa de las ubicaciones de los proyectos propuestos en octubre de 2016. Fuente: poweratberth.eu (16).....	38
Ilustración 19. Volcán de Tinamar en el Muelle Espigón en el Puerto de Melilla. Fuente: puertos.es.....	39
Ilustración 20. Monaguillo de conexión a buques en el Muelle Espigón, en el Puerto de Melilla. Fuente: puertos.es .....	40
Ilustración 21. Representación de la instalación OPS en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: poweratberth.eu .....	41
Ilustración 22. Representación de la instalación OPS en el Puerto de Santa Cruz de La Palma. Fuente: poweratberth.eu .....	42
Ilustración 23. Representación de la instalación OPS en el Puerto de San Sebastián de La Gomera. Fuente: poweratberth.eu .....	42
Ilustración 24. Configuración de los muelles y dársenas del Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: google.es/maps.....	44
Ilustración 25. Ubicación de los muelles objeto de estudio: Muelle I Ribera y Pantalán de Anaga. Fuente: Google.es/maps.....	46
Ilustración 26. Representación de equipo de gestión de cable tipo grúa con base fija. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (20) .....	48
Ilustración 27. Representación de la caja de tomas. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife. (20).....	49



## Índice de tablas

Tabla 1. Contenido de NOx según las revoluciones del motor (n). Fuente: MARPOL Anexo VI.....	17
Tabla 2. Reducción de emisiones utilizando Cold Ironing en vez de motores auxiliares en puertos españoles. Fuente: puertos.es (11).....	23
Tabla 3. Niveles de ruido según el tipo de buque. Fuente: euronoise2018.eu (13) .....	24
Tabla 4. Potencia eléctrica estimada para cada tipo de buque. Fuente: Ericsson & Fazlagic. (2008) (14).....	27
Tabla 5. Potencia eléctrica estimada para cada equipo del buque. Fuente: Papoutsoglou, T. (2012) (15).....	28
Tabla 6. Comparación entre las frecuencias según el tipo de buque. Fuente: Ericsson & Fazlagic (2008) (14).....	31
Tabla 7. Puertos que usan Cold Ironing hasta 2017. Fuente: sciencedirect.com (17) .	34
Tabla 8. Resumen de sistemas OPS en puerto de Gotemburgo. Fuente: poweratberth.eu (16).....	36
Tabla 9. Buques en estudio para la instalación de recepción OPS. Fuente: poweratberth.eu (16).....	38
Tabla 10. Alineaciones de la Dársena de Anaga. Fuente: puertosdetenerife.org.....	45
Tabla 11. Características eléctricas de cada buque. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (20).....	46
Tabla 12. Características de los puntos de conexión. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife. (20).....	47
Tabla 13. Reducción de emisiones utilizando Cold Ironing en vez de motores auxiliares en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (19).....	50
Tabla 14. Comparación del coste anual de los motores auxiliares y del cold ironing en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: elaboración propia.....	52
Tabla 15. Comparación del coste anual de los motores auxiliares y del cold ironing sumando los costes externos. Fuente: elaboración propia.....	52



## Acrónimos

AT. *Alta Tensión*

BT. *Baja Tensión*

CGP. *Caja General de Protección*

CO<sub>2</sub>. *Dióxido de Carbono*

CT. *Centro de Transformación*

dB. *Decibelio*

ECA. *Emission Control Areas*

EGC. *Equipo de Gestión de Cables*

g/kWh. *Gramos por Kilowatio-Hora*

GNL. *Gas Natural Licuado*

GT. *Gross Tonage*

HFO. *High Fuel Oil*

HSC. *High-Speed Craft*

Hz. *Hercio*

IAPP. *International Air Pollution Prevention*

kV. *Kilovoltio*

kW. *Kilowatio*

MARPOL. *Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques*

MGO. *Marine Gas Oil*

MT. *Medía Tensión*

n. *Revoluciones del motor*

NO<sub>x</sub>. *Óxido de nitrógeno*

OMI. *Organización Marítima Internacional*

OPS. *Onshore Power Supply*

RO-PAX. *Ferry*

RO-RO. *Roll on - Roll off*

rpm. *Revoluciones por minuto*

SO<sub>4</sub>. *Sulfato*

SO<sub>x</sub>. *Óxido de azufre*

TEU. *Twenty Foot Equivalet Unit*





## Resumen

Las emisiones de gases contaminantes son un problema para el medioambiente. Los buques emiten una gran cantidad de gases durante el atraque debido a los motores auxiliares. En Canarias, todos los puertos están muy integrados con la ciudad y por tanto la contaminación (atmosférica y acústica) afecta a los barrios circundantes.

Existen muchas alternativas para reducir las emisiones en puerto, una de ellas consiste en la desconexión de los motores auxiliares de los buques durante el atraque para obtener la energía mediante el suministro eléctrico desde tierra. Este método, llamado comúnmente "Cold Ironing", está comenzando a implantarse en numerosos puertos europeos. Estos sistemas de suministro deben abastecer las demandas eléctricas de los buques que atraquen y tener una estandarización para recibir el mayor número de buques posibles.

Canarias cuenta con numerosos puertos en los que se está realizando proyectos para la instalación de este tipo de sistema y varias navieras implicadas. La implantación de este tipo de tecnología en puertos supone un avance tecnológico y medioambiental para tratar de mejorar calidad del aire de las ciudades portuarias.



## Abstract

Pollutant gas emissions are a problem for the environment. Vessels emit a large amount of pollutant gas during docking due to auxiliary engines. In the Canary Islands, all ports are highly integrated with the city, and pollution (atmospheric and acoustic) affects the surrounding neighbourhoods.

There are many alternatives to reduce emissions at the port, one of them is the disconnection of the auxiliary engines of ships during berthing to obtain energy through the electrical supply from land. This method, commonly called "Cold Ironing", is beginning to be implemented in numerous European ports. These systems must supply the electrical demands of the ships that dock and have a standardization to receive the largest number of ships possible.

In the Canary Islands, projects are being carried out for the installation of this type of system in numerous ports and some shipping companies are involved. The implementation of this type of technology in ports represents a technological and environmental advance to try to improve air quality in port cities.



## Objetivos

El objetivo de este trabajo es visibilizar la tecnología del Cold Ironing, utilizada para la reducción de gases contaminantes en puertos. Este tipo de instalaciones es aún desconocido para gran parte de la comunidad marítima y está comenzando a utilizarse en muchos puertos, tanto nacionales como internacionales.

En los últimos años han evolucionado las alternativas a los combustibles fósiles optimizando la tecnología para hacerla mas respetuosa con el medioambiente. En los puertos canarios se están tomando algunas medidas entre las que se destaca la del suministro eléctrico a los buques en puerto. En este trabajo se profundizará sobre un puerto canario: el puerto de Santa Cruz de Tenerife, para conocer las características principales del Cold Ironing y su adaptación a la infraestructura portuaria existente.

Por otro lado, el objeto del trabajo también es contemplar las ventajas y desventajas de la instalación, profundizando en aspectos como la reducción de emisiones contaminantes o el impacto económico de la instalación, analizando la rentabilidad del sistema.



## Introducción

En el siglo XVIII, tras el inicio de la revolución industrial, el descubrimiento de combustibles fósiles como el carbón y la invención de la máquina de vapor, las emisiones de gases contaminantes se dispararon y no han dejado de crecer. Todos estos avances supusieron una revolución para el hombre, cambió la manera de producir, de viajar y vivir, sin embargo, ha tenido unas claras consecuencias para el planeta.

No fue hasta finales del siglo XX cuando los gobiernos de todo el mundo se decidieron reunir para discutir sobre los efectos de las emisiones contaminantes y realizar una acción conjunta para reducir el calentamiento global. En 1992 tiene lugar en Nueva York la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) para, entre otras cosas, reforzar la conciencia general sobre las emisiones contaminantes y el cambio climático. En 1997 los principales países industrializados se reunieron bajo el marco de la UNFCCC en Kyoto, Japón, para establecer unas medidas con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. No fue hasta 2005 que entró en vigor dicho tratado que comprometía a los países a reducir al menos un 5% las emisiones tomando como referencia los niveles de 1990.

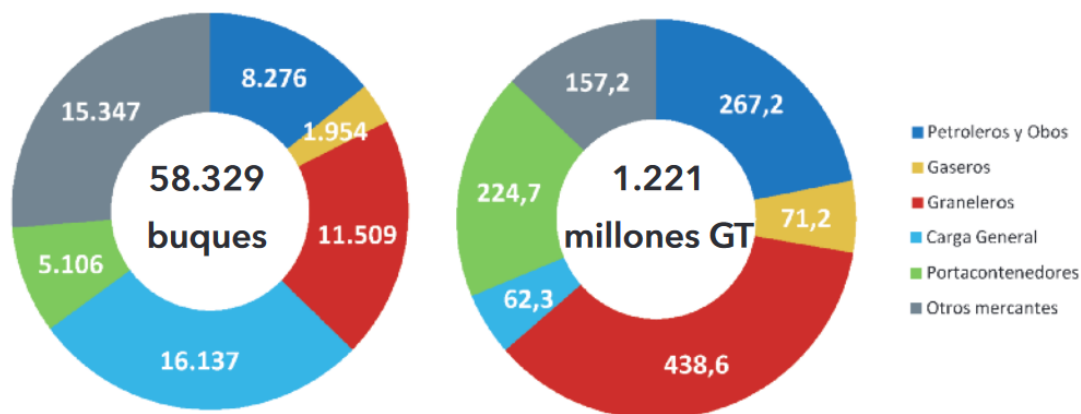
La Unión Europea consiguió el objetivo y redujo incluso un 8% las emisiones de gases contaminantes. En 2015 tiene lugar el Acuerdo de París, en el que 195 países se reúnen y acuerdan tomar medidas nacionales sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y evitar así un incremento de la temperatura media global de más de 2°C respecto a la era preindustrial.

Desde la conferencia de Kyoto, los países y organizaciones internacionales se han movilizado y han tomado medidas contra la contaminación. En 2005 el transporte marítimo internacional toma las primeras medidas contra la contaminación atmosférica cuando entra en vigor el anexo VI del MARPOL. Desde entonces, se ha procurado avanzar hacia un futuro más limpio mediante la reducción del uso de los combustibles más contaminantes y la innovación en tecnologías renovables o más limpias, como el Cold Ironing.

## Antecedentes

El transporte marítimo es uno de los medios de transporte más antiguos y ha ido evolucionando a lo largo de la historia. Es el uno de los motores de la economía mundial ya que facilita el movimiento de grandes mercancías entre países. Alrededor del 90% del comercio mundial se realiza a través del mar ya que permite mover grandes cantidades de granel o contenedores entre puntos geográficamente aislados de manera rentable y versátil pues existe la posibilidad de utilizar buques de distintos tamaños o adaptados a cualquier tipo de carga (1).

Existen más de 50.000 buques mercantes que comercian de manera internacional transportando toda clase de mercancías. La flota mundial se compone de más de 150 naciones y más de un millón de tripulantes de todas las nacionalidades. (2)



El transporte marítimo ha crecido anualmente alrededor de un 3,1% durante las últimas tres décadas. Existen muchas compañías navieras, aunque la mayoría de ellas son pequeñas y con una cuota de mercado insignificante en comparación con las grandes navieras, por ejemplo, alrededor del 30% de la capacidad mundial de TEU (Twenty Foot Equivalent Unit) la proporcionan las 3 principales navieras (Maersk Line, MSC y CMA-CGM) que transportan un total de 5,291,145 TEU. (3)

Los puertos son por tanto elementos decisivos para el comercio y por tanto para la economía local y global. La evolución del tráfico marítimo mundial está estrechamente relacionada con la actividad portuaria, que no se limita únicamente al atraque-desatraque, sino a todos los servicios complementarios.

Históricamente los puertos y las ciudades han estado estrechamente vinculados. Los puertos son el origen de muchas ciudades que comenzaron como pequeños pueblos y que fueron desarrollándose gracias a la prosperidad del comercio por la vía marítima. Un ejemplo reciente es el de Shenzhen, una ciudad china de 12 millones de habitantes que en 1955 era un simple pueblo pesquero con una población de 5 mil habitantes. Este crecimiento fue impulsado por las exportaciones y el gran desarrollo portuario. En 2018 el puerto de Shenzhen fue el tercer puerto del mundo con mayor tráfico de contenedores con un movimiento anual de 27.7 millones de TEUs, sólo por detrás de Shanghái y Singapur. (4) (5)



*Ilustración 2. Crecimiento de la ciudad de Shenzhen.  
Fuente: cgtn.com*

## Emisiones

El sector del transporte genera un 14% de los gases de efecto invernadero a nivel mundial (Ilustración 3). Son emisiones que provienen de la combustión de combustibles fósiles en las carreteras, ferrocarriles, aviones y el transporte marítimo. Alrededor de un 95% de la energía utilizada para el transporte mundial proviene de derivados del petróleo. (6)

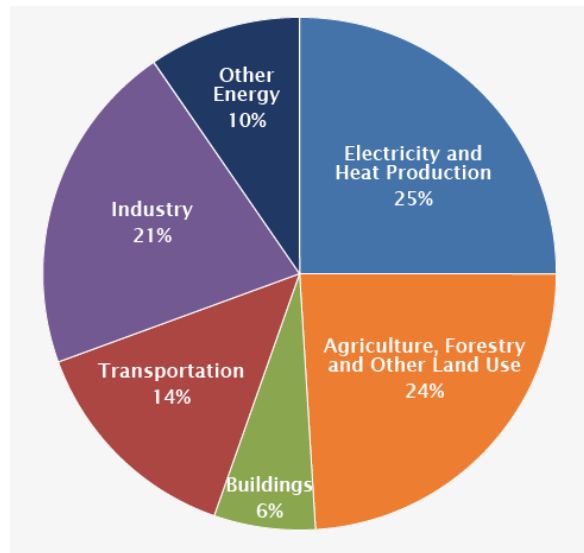


Ilustración 3. Emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global por sectores económicos.  
Fuente: epa.gov

Dentro del sector del transporte se observa que la gran mayoría de las emisiones son producto de los vehículos que se mueven por carretera, que producen hasta un 75% de los gases de efecto invernadero, mientras que el sector de la aviación emite alrededor de un 10% y el sector del transporte marítimo otro 10%. Sin embargo, si se realiza una comparativa entre las emisiones específicas expresadas en gramos de CO<sub>2</sub> por tonelada de carga transportada, son los aviones los que con diferencia emiten más cantidad de gases de efecto invernadero cubriendo una misma distancia. El transporte marítimo en este caso es un tipo de transporte muy poco contaminante y muy eficiente. (7).

## Emisiones en puerto

Un buque atracado en puerto se asemeja una planta de generación de energía eléctrica, como las que suministran energía a las ciudades, pero a menor escala. En este caso el buque posee unos motores auxiliares que durante la estancia en puerto se encargan de producir la energía para abastecer la demanda eléctrica del buque.

Los compuestos principales de los gases de combustión son el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), que produce problemas respiratorios y es causante de la lluvia ácida, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se trata de del más importante gas de efecto invernadero y el óxido de azufre (SO<sub>x</sub>), que produce daños en el ecosistema y causa problemas pulmonares y del metabolismo. (8)



Los generadores auxiliares de los buques se alimentan generalmente de fueloil pesado (HFO) y gasoil marino (MGO), que contienen mucho más azufre que el gasoil o la gasolina que se utiliza para los vehículos, y por tanto generan gases con mayor contenido en óxido de azufre y por tanto mucho más contaminantes. (8)

Los buques generan una atmosfera contaminante alrededor del puerto y de la ciudad portuaria, es por esto por lo que deben adaptarse a las nuevas normativas y comenzar a reducir las emisiones contaminantes. Aquellos construidos recientemente poseen equipos para mitigar el impacto de las emisiones en el puerto, sin embargo, la gran mayoría de los buques carece de los medios.

## Legislación sobre las emisiones

El convenio internacional MARPOL (Convenio Internacional para prevenir la contaminación de los buques) desarrollado por la OMI (Organización Marítima Internacional) es el principal acuerdo internacional en materia de protección del medio marino, recoge una serie de normativas con la finalidad de prevenir la contaminación de los buques. Se aprobó en 1973 pero no entró en vigor hasta 1983. (9)

Se desarrolló con el objetivo de minimizar la contaminación de océanos y mares, además del aire. En la actualidad 156 estados han ratificado el convenio, un 99,42% del tonelaje bruto mundial. (10)

El 19 de mayo de 2005 entró en vigor el anexo VI del MARPOL (Ilustración 4), que recoge las reglas para prevenir la contaminación atmosférica. Todos los buques de arqueo igual o superior a 400 serán objeto de reconocimientos e inspecciones y estarán obligados a expedir el certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica (Certificado IAPP), en el que declararán las emisiones de sustancias nocivas, que agotan la capa de ozono o que provocan efecto invernadero. (9)

Deberán declarar que los gases emitidos no exceden de los límites de sustancias nocivas impuestos por el reglamento, es decir, que no están emitiendo gases con altos contenidos en óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>).



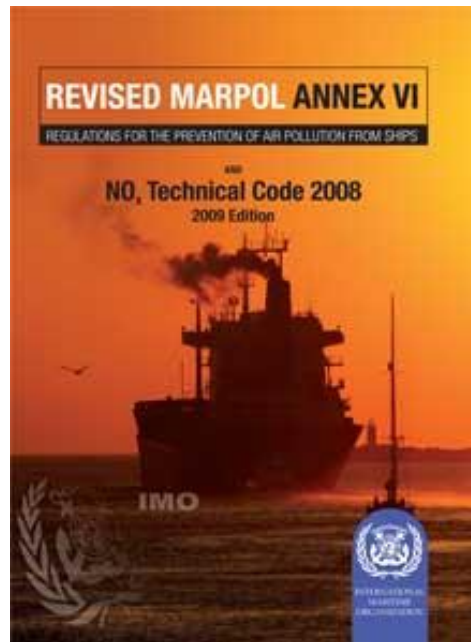


Ilustración 4. Anexo VI del MARPOL: Reglas para reducir la contaminación atmosférica.  
Fuente: ingenieromarino.com

En el anexo VI del MAPORL se regulan las emisiones de NO<sub>x</sub> de los motores diésel marinos con potencia igual o superior a 130 kW, con la excepción de aquellos equipos que sean de emergencia, los instalados en botes salvavidas. Estos motores no deberán exceder unos límites de NO<sub>x</sub> según las revoluciones del motor (Tabla 1).

$n < 130 \text{ rpm}$	$130 \text{ rpm} < n < 2000 \text{ rpm}$	$n > 2000 \text{ rpm}$
17 g/kWh	$45 \cdot n^{-0.2} \text{ g/kWh}$	9.8 g/kWh

Tabla 1. Contenido de NO<sub>x</sub> según las revoluciones del motor ( $n$ ).  
Fuente: MARPOL Anexo VI

Respecto al Óxido de Azufre (SO<sub>x</sub>) simplemente se regulará que el contenido de azufre de todo fueloil utilizado por buques no exceda el 4.5% en masa.

En julio de 2010 se estableció una reducción de manera progresiva de las emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas cuando se adoptó la versión revisada del anexo VI. Además, se introdujeron las zonas de control de emisiones (ECA por las siglas en inglés). Las zonas ECA (Ilustración 5) son áreas marítimas que, por razones oceanográficas, ecológicas y de tráfico marítimo, requieren de procedimientos especiales para evitar la contaminación.



Ilustración 5. Ubicación de las zonas ECA establecidas por la OMI. Fuente: puertos.es

## Alternativas

En el sector marítimo existen métodos alternativos para reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera. La energía renovable a bordo aún se encuentra en fases experimentales. Los buques más modernos comienzan a traer motores y grupos eléctricos con emisiones más limpias.

Cada vez es más común la instalación de catalizadores o “scrubbers”, que consisten en lavar los gases con agua salada, que posee propiedades alcalinas y al reaccionar con el  $\text{SO}_x$  lo convierte en  $\text{SO}_4$  (sulfato) que pasa a ser líquido permitiendo el escape de gases limpios. Los resultados obtenidos muestran eficiencias de limpieza de más del 90%, sin embargo, presenta problemas como los ruidos, el aumento de consumo, no se reducen las emisiones de  $\text{CO}_2$  y un alto mantenimiento de los equipos. (11)

Por otro lado, existen métodos para reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$  como la Reducción Catalítica Selectiva, que consiste en convertir los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) mediante el empleo de un catalizador y un reductor gaseoso. Otros métodos son los combustibles emulsionados o la humidificación del aire de admisión. (12)

Una alternativa muy popular en la actualidad es el uso de combustibles más limpios como el Gas Natural Licuado (GNL), biocombustibles e hidrógeno. El GNL durante la combustión apenas produce azufre ni óxidos nitrosos y en cuanto al dióxido de carbono,



se puede reducir hasta un 25%. Ofrece diversas ventajas, por ejemplo, las reservas del gas natural se encuentran más repartidas que las del petróleo, y por tanto hacen que su precio sea menor y que haya mayor seguridad de suministro. (11)

Otra medida contra las emisiones es el Cold Ironing, que consiste en establecer una conexión del buque atracado a la red eléctrica terrestre. Esta medida ayuda a mitigar las emisiones que se producen mientras el buque está atracado, lo cual afecta directamente a la calidad del aire de los núcleos de población adyacentes al puerto.

## Metodología

Para llevar a cabo el presente trabajo se han seguido una serie de pautas.

### Preparación y recopilación de información

Una vez elegido el tema de investigación se comenzó estructurando las ideas y los temas que se van a tratar. Se comenzó una búsqueda exhaustiva en varias plataformas para adquirir información acerca del tema y comparar varios artículos para contrastar el material.

### Elaboración del trabajo

Una vez adquirida suficiente información, tras haberla analizado y clasificado, se realizó una estructuración del trabajo por apartados a tratar. En primer lugar, se trata un apartado inicial que lo conforma Antecedentes, en el cual se recoge las ideas previas para el posterior desarrollo del trabajo y análisis de datos.

El siguiente apartado, que se corresponde con Cold Ironing esboza el concepto del suministro eléctrico a buques en puerto. En él se contemplan las principales características del sistema, la reducción de emisiones, ruidos y vibraciones además de los requerimientos en infraestructura portuaria para la instalación de este tipo de tecnología.

En el apartado de Viabilidad del sistema se estudia todos los parámetros que intervienen en este tipo de instalación, como la potencia eléctrica que debe suministrar para abastecer a los diferentes tipos de buques, la tensión de alimentación, la frecuencia eléctrica y los tipos de conexión existentes entre el muelle y el buque y sus ventajas e inconvenientes.

Una vez analizado el concepto de Cold Ironing, sus características y los principales factores para tener en cuenta en una instalación de este tipo, en el apartado de Casos de Cold Ironing se enumerarán algunos puertos del mundo que cuentan con esta tecnología y en el de OPS Master Plan for Spanish Ports algunos de los proyectos llevados a cabo en los puertos españoles.

Algunos de estos proyectos son en puertos canarios, en el apartado de Cold Ironing en Canarias se estudiarán de manera escueta las instalaciones que se están llevando a cabo en las islas como La Gomera, La Palma, Tenerife y Gran Canaria.



Este trabajo profundizará en el puerto de Santa Cruz de Tenerife en el apartado de Cold Ironing en el puerto de Santa Cruz de Tenerife. En él se realizará un estudio exhaustivo sobre la instalación explicando la configuración del puerto y los muelles donde se instalará el sistema. Se contemplará la demanda eléctrica requerida por los buques del estudio y se explicará la infraestructura portuaria necesaria. Se calculará la reducción de emisiones entre el sistema previo y el nuevo sistema Cold Ironing y se hará un análisis de rentabilidad.

Por último, en el apartado de Conclusiones se tratarán los resultados obtenidos en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife y se discutirá sobre la viabilidad de la instalación de suministro.

## Cold Ironing

Los buques generalmente cuentan con uno o varios motores auxiliares los cuales abastecen de energía eléctrica durante la navegación y también cuando se encuentra atracado en puerto, mientras realiza las operaciones de carga, descarga y estacionamiento.

El Cold Ironing, también llamado “Onshore Power Supply (OPS)”, “Shore to Ship Power”, o “Alternative Marine Power”, consiste en conectar el buque a una fuente de energía externa y así poder apagar los motores auxiliares.

El término de “Cold Ironing” se empezó a utilizar cuando los buques aún utilizaban carbón como combustible. Cuando se llegaba a puerto, el buque, que carecía de demanda eléctrica, paraba por completo los motores. Los motores estaban fabricados con hierro (iron) y al pararse comenzaban a enfriarse hasta llegar a estar completamente fríos (cold). (10)

Este método de suministro eléctrico lleva en funcionamiento más de una década y se ha comenzado a utilizar en diversos puertos de varios países como una apuesta para avanzar en los “Green Ports”, o el concepto de puertos ecológicos. Los “Green Ports” son puertos en los que utilizan alternativas medioambientales para reducir el impacto contaminante. Estos puertos suelen cumplir con algunas normas como el certificado PERS (Port Environmental Review System), un sistema de revisión ambiental portuaria desarrollado por la UE o la norma ISO4001 de certificación ambiental. Algunos de los puertos denominados “Green Ports” en España son Vigo, Barcelona, Melilla o Huelva. (13)

### Reducción de emisiones

Si se compara el factor de emisión por kWh generado, la electricidad generada por la red nacional contamina mucho menos que la generada por los motores auxiliares del buque. Además, el foco de emisiones de la red nacional, que son las centrales eléctricas, suele estar más alejado de los núcleos de población que los buques atracados en puerto, que suelen estar anexos a las ciudades.

Como se observa en la Tabla 2, la reducción de emisiones es bastante notable, en especial en los compuestos contaminantes de NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>, que se observan disminuciones del 96% y 64% respectivamente. (11)

El abastecimiento eléctrico a todos los buques de un puerto supondría una gran reducción en emisiones, que solo tendría su origen en el uso de los motores principales durante las maniobras de atraque y desatraque.

	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	SO <sub>x</sub> (g/kWh)	CO <sub>2</sub> (g/kWh)
Factores de emisión para motores auxiliares en puerto	11,8	0,46	690
Factores de emisión para la producción de energía eléctrica en España	0,477	0,421	245
Diferencia entre factores de emisión	11,32	0,039	444
Porcentaje de reducción	96%	8,5%	64%

Tabla 2. Reducción de emisiones utilizando Cold Ironing en vez de motores auxiliares en puertos españoles. Fuente: puertos.es (11)

## Reducción de ruidos y vibraciones

Otra ventaja del suministro eléctrico a buques en puerto es la eliminación de los ruidos y vibraciones procedentes de los motores auxiliares, que pueden alcanzar niveles de ruido de unos 90 a 120 dB. Esto afecta de manera directa a toda la tripulación que trabaja y vive a bordo bajo estas condiciones. (11)

Sin embargo, aunque se suprima el ruido de los generadores auxiliares, seguirá habiendo fuentes de ruido como la ventilación o la refrigeración en el caso de los reefers. Por ello que no supone un cambio tan drástico para la tripulación de un buque, pero lo supone para las cercanías del puerto, como los núcleos de población anexas, es decir, las ciudades portuarias.

En la Tabla 3 se observa un estudio de los niveles de ruido según el tipo de buque realizado en 2018 en el puerto de Bilbao. (13)

La población que frecuenta las zonas cercanas a los puertos tiene por costumbre escuchar altos niveles de ruido, principalmente de los motores auxiliares, y los vecinos de los alrededores se pueden llegar a ver en la situación de tener que insonorizar ventanas para poder mitigar el ruido.

El uso del Cold Ironing supondría la eliminación de la fuente principal este ruido, mejorando por tanto las condiciones de trabajo de los tripulantes, el personal portuario, y en especial, de la población de las ciudades portuarias.

Tipo	Año	Tamaño (GT)	Potencia de motores auxiliares (kW)	Condiciones de trabajo (kW)	Niveles de ruido (dB)
Ro – Ro	2003	22382	4200	900	109.3
	1999	12076	2 x 980	400	107.5
Portacontenedor	2002	14241	-	-	97.4
	2008	7702	2 x 750	750	95.1
	2007	8971	2 x 469	469	95.0
	2009	10585	-	-	90.2
Crucero	1973	28372	2200	-	103.2
	2000	30277	-	-	94.7
	2016	55254	-	-	97.5
	2002	139570	-	-	98.7
	2008	154407	-	-	96.2

Tabla 3. Niveles de ruido según el tipo de buque. Fuente: eurnoise2018.eu (13)

## Puertos deportivos

Un sistema de abastecimiento eléctrico análogo podría ser el que encontramos en los puertos deportivos. Los barcos de recreo, especialmente los yates, también tienen demanda eléctrica ya que algunos cuentan con nevera, sistemas de aire acondicionado, televisión, etc. Estos electrodomésticos necesitan de una fuente de energía eléctrica, que puede ser un motor generador o un puerto deportivo.

Cuando el barco está navegando o fondeado en una playa y requiere de energía eléctrica, debe encender el motor generador para así poder abastecerse, sin embargo, cuando entra a un puerto deportivo puede apagar el motor generador y conectarse a la red eléctrica.

En los pantalanes de los puertos deportivos encontramos torretas para el suministro eléctrico. Como se observa en la Ilustración 6, cuentan con una salida o toma de corriente a la que se enchufa un cable que va al barco de recreo.





Ilustración 6. Torreta de suministro eléctrico en un puerto deportivo. Fuente: nauticexpo.es

Todas las marinas o clubs náuticos tienen a disposición de clientes la posibilidad de suministrar energía eléctrica. Si no fuera de esta manera, todos los yates tendrían los motores generadores encendidos y habría un gasto excesivo en gasoil además de un mayor impacto de ruidos y emisiones para el pueblo o ciudad.

## Requerimientos en infraestructura portuaria

Un sistema de conexión eléctrica requiere de la instalación de una infraestructura que consta de varios elementos. Tal y como se observa en la Ilustración 7, la configuración básica para un sistema Cold Ironing constaría de los siguientes elementos:

- Conexión a la **red eléctrica nacional**, que suministra altos voltajes (20-100 kV)
- Una **subestación local** que transforma los voltajes (6-20 kV)
- Un **convertidor de frecuencia**, que es opcional porque la frecuencia que se trabaja en España y Europa es 50 Hz, sin embargo, algunos buques en especial los americanos, cuentan con equipos que trabajan con frecuencias de 60 Hz
- Un **sistema de distribución de la red** para que llegue electricidad a todos los puntos de atraque, con sus respectivos contadores.
- Un **sistema de izado de cables**, también opcional, pero recomendado para evitar la manipulación de cables de alta tensión. Por ejemplo, la instalación de grúas que puedan subir y bajar los cables

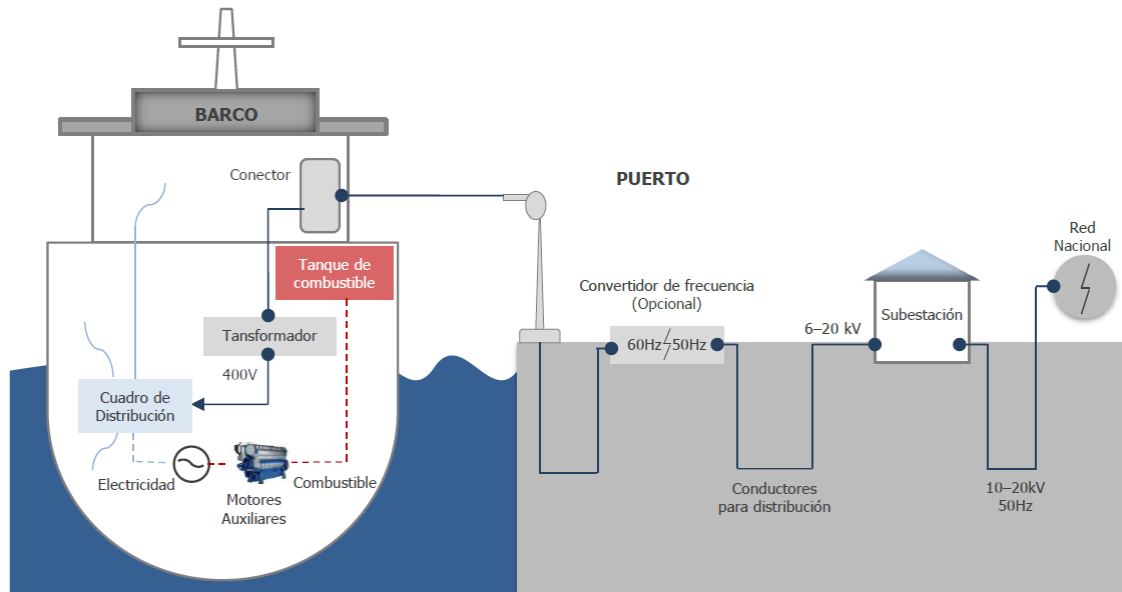


Ilustración 7. Configuración típica de un sistema de conexión eléctrica para suministro a buques. Fuente: puertos.es (11)

Respecto a la infraestructura necesaria a bordo, cuya instalación es responsabilidad de cada buque y naviera, se requiere de una serie de elementos los cuales son:

- Un **conector**, en el que se enchufa el cable procedente del puerto.
- Un **transformador** para poder transformar el voltaje de alta tensión (AT) a baja tensión (BT) ya que la mayoría de los equipos de a bordo trabajan a 400 V.

## Viabilidad del sistema

La instalación de un sistema de Cold Ironing tiene ventajas e inconvenientes, tanto para la autoridad portuaria como para las navieras. Para comprobar la viabilidad del sistema se debe hacer un estudio y analizar los factores que intervienen. Factores técnicos, económicos y medioambientales.

### Demanda de potencia eléctrica de buques en puerto

Durante el atraque los buques tienen una demanda eléctrica que abastecen con sus motores auxiliares. Esta necesidad eléctrica varía según el tipo de buque. En la Tabla 4 se aprecia de forma aproximada la diferencia de potencia que requiere cada tipo de buque.

	Potencia estimada requerida para el atraque (kW)	Picos de potencia requerida (kW)
Portacontenedor	1200	8000
Crucero	7500	11000
Ro-Ro	1500	2000
Buque tanque	1400	2700

Tabla 4. Potencia eléctrica estimada para cada tipo de buque. Fuente: Ericsson & Fazlagic. (2008) (14)

La potencia requerida por cruceros es mucho mayor que la de buques de pasajeros o Ro-Ro. Se debe de tener en cuenta el tráfico de cada puerto para comprobar la demanda eléctrica estimada que tendrá.

Para hacerse una idea de cómo se distribuye la electricidad entre los equipos de un buque. En la Tabla 5 se muestra el gasto energético de cada uno de los equipos un buque portacontenedor durante su estancia atracado en puerto.

En algunas ocasiones la red eléctrica local es incapaz de abastecer la potencia necesaria para dar servicio a los buques. Esto dependerá de las compañías que suministran la electricidad, que en ese caso deberán ampliar la red con nuevas subestaciones. No obstante, los puertos pueden instalar sus propias fuentes de generación de energía, como por ejemplo aerogeneradores o motores de gas natural y así poder abastecer la demanda eléctrica.

	Consumo (kW)
Alumbrado	70
Acomodación y aire acondicionado	112
Purificadoras	23
Bombas contra incendios	26
Bombas de sentina	26
Bombas de lastre	37
Ventilación de sala de máquinas	105
Maquinillas	50
Compresor de aire	110
Ventilación de bodegas	20
Cocina	25
Cabrestantes de amarre	50

Tabla 5. Potencia eléctrica estimada para cada equipo del buque. Fuente: Papoutsoglou, T. (2012) (15)

## Valores de tensión

Las centrales eléctricas generan electricidad y la transportan largas distancias en alta tensión (AT) pues es una forma más eficiente de transporte. Una vez llega a los núcleos urbanos pasa por una subestación transformadora que la reduce a media tensión (MT) para poder distribuirla y, por último, para poder consumirla se reduce a baja tensión (BT).

De forma general encontramos que los buques funcionan con baja tensión (BT), con valores entre 380 y 460 V. Sin embargo, los grandes buques tanque y sobre todo los grandes cruceros de más de 200 metros de eslora trabajan con media tensión (MT), valores de entre 6,6 y 11 kV. (14)

Existen dos normas internacionales que regulan y detallan las características de los sistemas de conexión de buques, la norma ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012 que regula las características de los sistemas de conexión de alta (AT) y media tensión (MT) y la norma IEC/IEEE 80005-3 que regula las conexiones en baja tensión (BT). La mayoría de los buques trabajan en BT salvo los grandes buques con gran demanda eléctrica, que lo hacen en MT. Si los buques cuya instalación eléctrica funciona en BT quieren recibirla en MT deberán hacer una inversión en un transformador reductor de tensión a bordo (como se observa en la Ilustración 7), y en muchos casos es inviable. (11)

Un ejemplo de la configuración de un sistema de suministro puerto-buque de media tensión (MT) se refleja en la Ilustración 8, en el cual la corriente de la red nacional llega a una subestación portuaria que la reduce y luego la distribuye hasta los transformadores de cada atraque, tal y como se observa, la tensión que se suministra al buque, de 6.6 kV, es de MT.

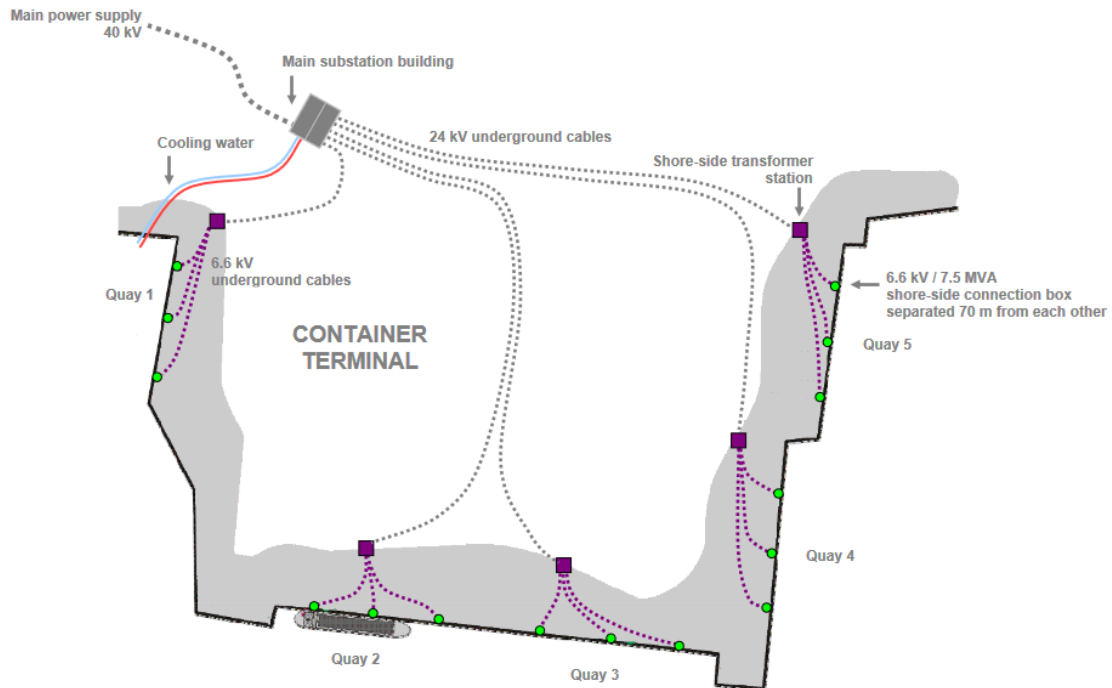


Ilustración 8. Configuración de un sistema de suministros eléctrico en un puerto de contenedores. Fuente: Ericsson & Fazlagic (2008) (14)

Por tanto, un sistema Cold Ironing se puede diseñar de dos maneras según la tensión de conexión al buque:

- Conexión de media tensión (MT)

La conexión MT tiene ventajas como el menor número de cableado requerido para distribuir la electricidad en el puerto, que se traduce en mayor rapidez de la conexión con el buque. Otra ventaja es el menor coste de la instalación en puerto, tanto por el reducido cableado, como por la falta de un transformador reductor.

Sin embargo, la mayor desventaja es el elevado coste de la inversión en la reforma de la instalación eléctrica a bordo de los buques. Deben instalar un transformador reductor a bordo que en muchos casos (por peso y dimensiones) es inviable. Además, en el puerto se requiere de operarios cualificados y autorizados para manipular los cables de MT.

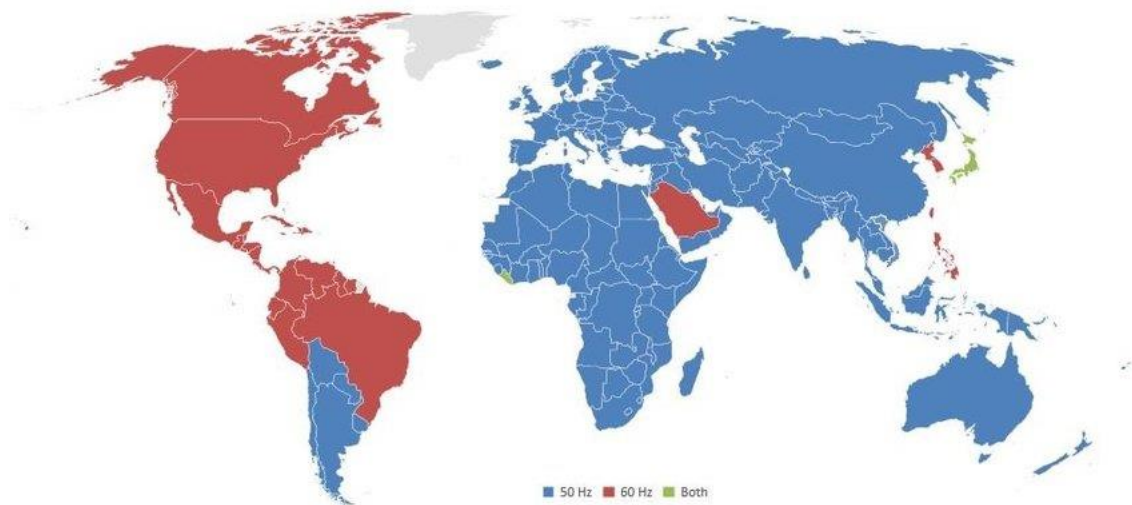
- Conexión de baja tensión (BT)

La conexión de baja tensión tiene la ventaja de que la reforma del buque es más económica y en algunos casos no requiere de reformas, ya que algunos buques cuentan con una conexión eléctrica a tierra, pensada para las ocasiones que están en dique seco y necesitan una fuente de alimentación externa.

La principal desventaja es que la inversión inicial en la instalación portuaria, que es más costosa debido a la necesidad de transformadores y el mayor número de cables, que a su vez hace la conexión más lenta.

### Compatibilidad de frecuencia eléctrica

Un problema que surge al ser los puertos lugares de recalada de buques de diferentes nacionalidades es la frecuencia. La frecuencia eléctrica usada en Europa es de 50 Hz, mientras que la utilizada en América es de 60 Hz. Es por esto por lo que, de manera general, los equipos de los buques europeos trabajarán a una frecuencia de 50 Hz mientras que los de los buques americanos lo harán a 60 Hz.



*Ilustración 9. Tipos de frecuencias utilizadas en el mundo. Fuente: researchgate.net*

Un sistema de suministro eléctrico en puerto debería tener un convertidor de frecuencia tal y como el que se observa en la Ilustración 7. Podría ser opcional para aquellos puertos en los que se conoce el tráfico habitual, con buques nacionales y que operan a la misma frecuencia de 50 Hz.

	50 Hz	60 Hz
Portacontenedor	26 %	74 %
Crucero	17 %	83 %
Ro – Ro	30 %	70 %
Buque tanque	20 %	80 %

Tabla 6. Comparación entre las frecuencias según el tipo de buque. Fuente: Ericsson & Fazlagic (2008) (14)

En la Tabla 6 se muestra una comparación entre las frecuencias que utilizan los buques en el mundo, la gran mayoría trabajan con una frecuencia de 60 Hz. Por tanto, aquellos puertos que reciban un mayor tráfico internacional requerirán de la instalación un convertidor de frecuencia. Para la conversión de frecuencia en sistemas OPS se necesita reducir la tensión de la línea de alimentación a 3,7 kV como máximo. Esto obliga a realizar conversiones de tensión y añadir otro equipo de transformación tal y como se observa en la Ilustración 10. Esto hace que en ocasiones los convertidores de frecuencia correspondan con el 50% del coste de inversión de la instalación. (16)

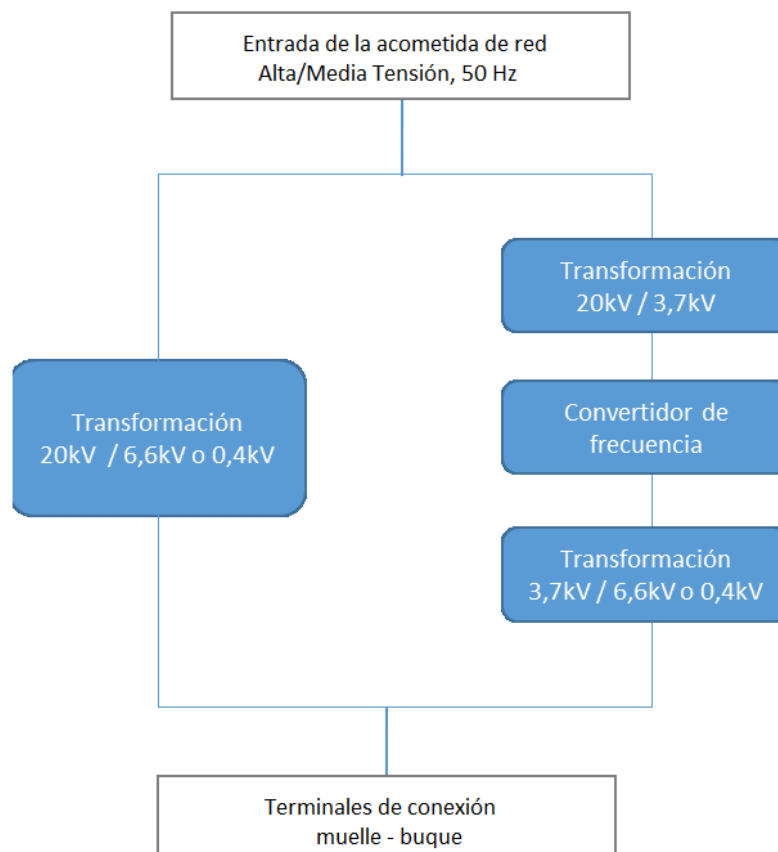


Ilustración 10. Descripción de los bloques del sistema OPS con convertidor de frecuencia. Fuente: poweratberth.eu (16)

## Conexión muelle – buque

La conexión entre el muelle y el buque es una operación compleja y peligrosa, se debe realizar con equipamiento especializado. Existen diferentes configuraciones para llevar la tensión a bordo.

La conexión tiene dos partes: el lado del muelle y el lado del buque.

- Lado del muelle

En el lado del muelle generalmente se encuentran dos tipos de conexiones: las cajas de conexiones y las grúas de elevación de conexiones.

Las cajas de conexiones son pequeñas estructuras instaladas en el muelle a escasos metros del buque donde se encuentra la toma eléctrica necesaria para la conexión del cable de suministro. Para ello un operario debe abrir la caja y enchufar el cable. Existen cajas verticales o cajas enterradas, tal y como se aprecia en la Ilustración 11.



Ilustración 11. Cajas de conexión. (a) Vertical (b) Enterrada. Fuente: poweratberth.eu (16)

Las grúas de elevación consisten en una grúa que eleva los cables al buque, hay varios tipos según el grado de movimiento, el tipo de carga, el nivel de automatización, pero la principal diferencia es si posee base fija o móvil. Esto dependerá del uso, pues las de base móvil se instalan cuando no hay un punto de conexión fijo, por ejemplo, en cruceros puede existir limitación de espacio y no permitir mover el buque al punto concreto. En la Ilustración 12 se observa la diferencia entre los dos tipos.





Ilustración 12. Grúas de elevación (a) Base fija (b) Base móvil. Fuente: poweratberth.eu (16)

- Lado del buque

La conexión en el lado del buque puede ser de varias maneras. Si los conductores son elevados desde el muelle con una grúa, los cables se conectan manualmente a una caja de conexiones a bordo (Ilustración 13 (a)). Otra opción consiste en extender el cable desde la borda del buque al muelle y conectarlo a una caja de conexión del muelle (Ilustración 13 (b)).

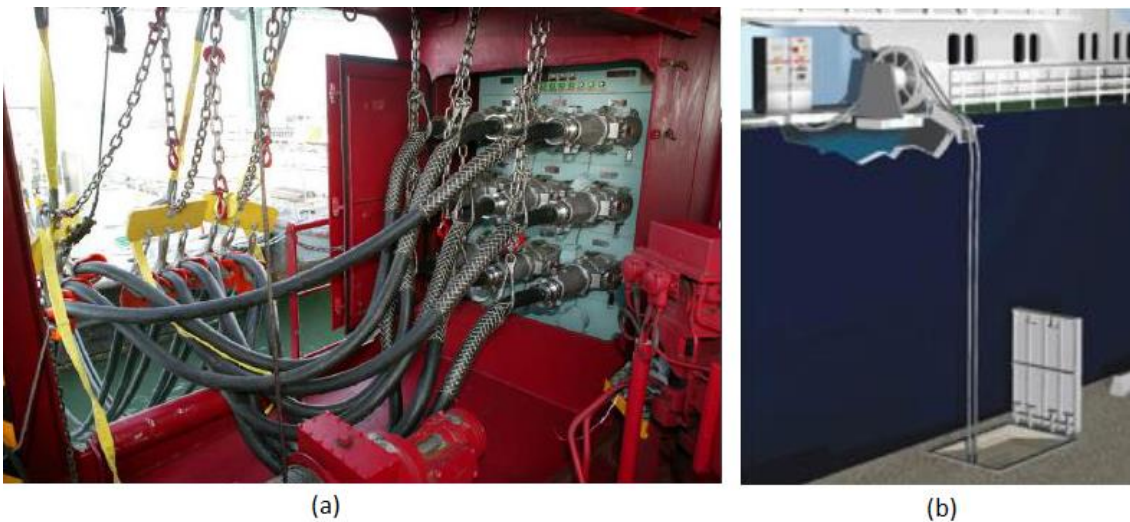


Ilustración 13. Conexión de buque (a) A bordo (b) En el muelle. Fuente: poweratberth.eu (16)

## Casos de Cold Ironing

En 2017 había 28 puertos en el mundo que contaban con un sistema de abastecimiento eléctrico Cold Ironing (Tabla 7), todos ellos son grandes puertos con mucha actividad y gran demanda eléctrica salvo Bergen (Noruega). (17)

Año introducido	Puerto	País	Año introducido	Puerto	País
2000	Gotemburgo	Suecia	2010	Karlskrona	Suecia
2000	Zeebrugge	Bélgica	2010	Ámsterdam	Holanda
2001	Juneau	EE. UU.	2011	Long Beach	EE. UU.
2004	Los Ángeles	EE. UU.	2011	Oslo	Noruega
2005	Seattle	EE. UU.	2011	Prince Rupert	Canadá
2006	Kemi	Finlandia	2012	Róterdam	Holanda
2006	Kotka	Finlandia	2012	Oakland	EE. UU.
2006	Oulu	Finlandia	2012	Ystad	Suecia
2006	Estocolmo	Suecia	2012	Helsinki	Finlandia
2008	Amberes	Bélgica	2013	Trelleborg	Suecia
2008	Lubeca	Alemania	2014	Riga	Letonia
2009	Vancouver	Canadá	2015	Bergen	Noruega
2010	San Diego	EE. UU.	2015	Hamburgo	Alemania
2010	San Francisco	EE. UU.	2015	Civitvecchia	Italia

Tabla 7. Puertos que usan Cold Ironing hasta 2017. Fuente: sciencedirect.com (17)

La mayoría de los puntos de suministro lo hacen a buques de pasaje como RO-RO, RO-PAX y Cruceros. Los puertos americanos lo hacen con una frecuencia de 60 Hz mientras que los europeos de 50 Hz, salvo los puertos de Amberes, Oslo y Hamburgo que dan la posibilidad de elegir la frecuencia. En general todos los puertos cuentan con un sistema OPS de alta tensión, entre 6.6 y 11 kV, aunque algunos puertos también cuentan con ataques con puntos de suministro de baja tensión como Gotemburgo, Long Beach o Estocolmo, con voltajes de entre 400 y 480 V. (16)

### Puerto de Gotemburgo

El puerto de Gotemburgo fue el pionero en el uso de la tecnología Cold Ironing. En 1989 se instaló en uno de sus muelles una terminal de suministro eléctrico para dos buques de la naviera *Stena Lines*. Se trataba de dos RO-PAX, el *Stena Scandinavica* (Ilustración 14) y el *Stena Germanica* que cubrían la línea Gotemburgo - Kiel. La instalación era de bajo voltaje, suministraba 400 V a 50 Hz.



Ilustración 14. Instalación Cold Ironing en el puerto de Gotemburgo en 1989. Caseta con el transformador y cableado conectado al Stena Scandinavica. Fuente: [chalmers.se](http://chalmers.se) (14)

En el año 2000 se dio el primer paso hacia el alto voltaje y se inauguró la primera instalación Cold Ironing de alto voltaje del mundo. La energía suministrada tenía una tensión de entre 6.6 y 10 kV a 50 Hz y con una potencia de 1000 kW. La conexión consistía en un único cable, que descendía desde el buque para conectarlo manualmente en la caseta del transformador (Ilustración 15).



Ilustración 15. Conexión OPS en el puerto de Gotemburgo (2000). Fuente: [chalmers.se](http://chalmers.se) (14)

En la actualidad hay 5 muelles que disponen de conexiones OPS y 11 buques equipados con la instalación de recepción. Tal y como se muestra en la Tabla 8, hay 7 puntos de suministro y se puede hacer a bajo y alto voltaje además de a 50 o 60 Hz.

Todos los puntos de suministro se usan por buques tipo ferry y RO-RO que cubren líneas entre Gotemburgo y otros países como Dinamarca, Alemania, Finlandia y Bélgica.

Terminal	Frecuencia	Voltaje	Puntos de suministro
Masthugget	50 Hz	440 V	1
Masthugget	50 Hz	11 kV	3
Maj nabbe	60 Hz	11 kV	1
Älvsborgshamnen	50 Hz	6 kV	1
Älvsborgshamnen	50 Hz	11 kV	1

Tabla 8. Resumen de sistemas OPS en puerto de Gotemburgo. Fuente: poweratberth.eu (16)

El mapa de la Ilustración 16 muestra la ubicación de las instalaciones OPS en el puerto de Gotemburgo (rodeado por círculos azules).

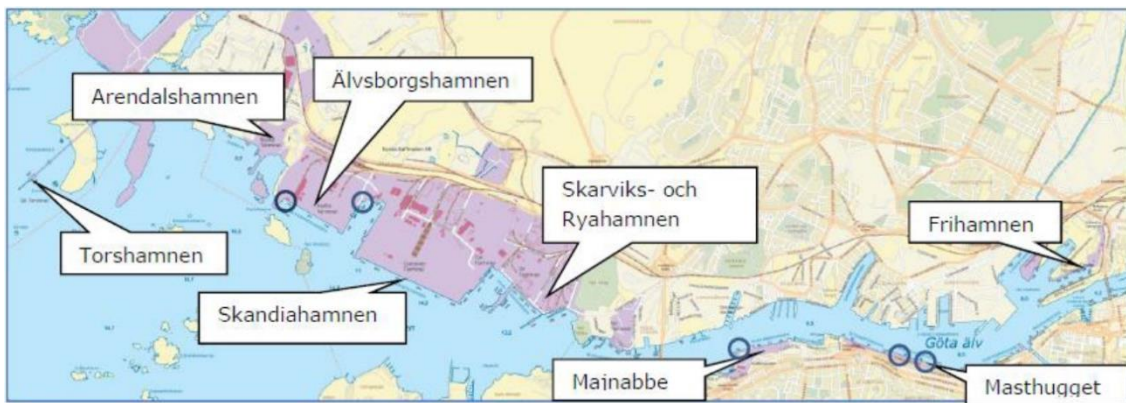


Ilustración 16. Mapa del puerto de Gotemburgo con los puntos de suministro OPS marcados con círculo azul. Fuente: poweratberth.eu (16)

El puerto de Gotemburgo es el más grande de los países nórdicos, y Suecia es el país europeo con mayor número de instalaciones OPS. Los puertos suecos como el de Gotemburgo suministran la electricidad libre de impuestos y ofrecen tarifas especiales aquellos buques que tengan instalados tecnología de recepción OPS. (17)

## OPS Master Plan for Spanish Ports

“El Proyecto *OPS Master Plan for Spanish Ports* tiene como objetivo la redacción de un Plan Director para el suministro de energía eléctrica a buques en atraque en los puertos españoles. Se integra en el Marco de Acción Nacional para el desarrollo de infraestructuras para el uso de combustibles alternativos en el sector del transporte: ello en cumplimiento del artículo 13 de la Directiva 2014/94/UE” (18)



*Ilustración 17. Logo del proyecto OPS Master Plan. Fuente: poweratberth.eu (18)*

Se trata de un proyecto para la instalación de la tecnología Cold Ironing en puertos españoles cofinanciado por la Unión Europea. Tiene como objetivo la reducción de contaminantes atmosféricos en puertos además de la contaminación acústica mediante la dotación de elementos electromecánicos para el suministro de electricidad. Varios buques serán adaptados para conectarse a la red eléctrica.

Tal y como se observa en la

Ilustración 18, en 2016 había multitud de puertos en fase de estudio. Se identificaron 11 puertos con una actividad portuaria en las que había buques que atracaban de forma periódica y una demanda relevante para justificar la implementación de OPS. (16)

Se calcula que tras la implementación de las actuaciones propuestas se podría reducir las emisiones a la atmósfera de manera anual aproximadamente:

- 22.312 toneladas de CO<sub>2</sub>
- 9,2 toneladas de SO<sub>x</sub>
- 482,2 toneladas de NO<sub>x</sub>

(16)

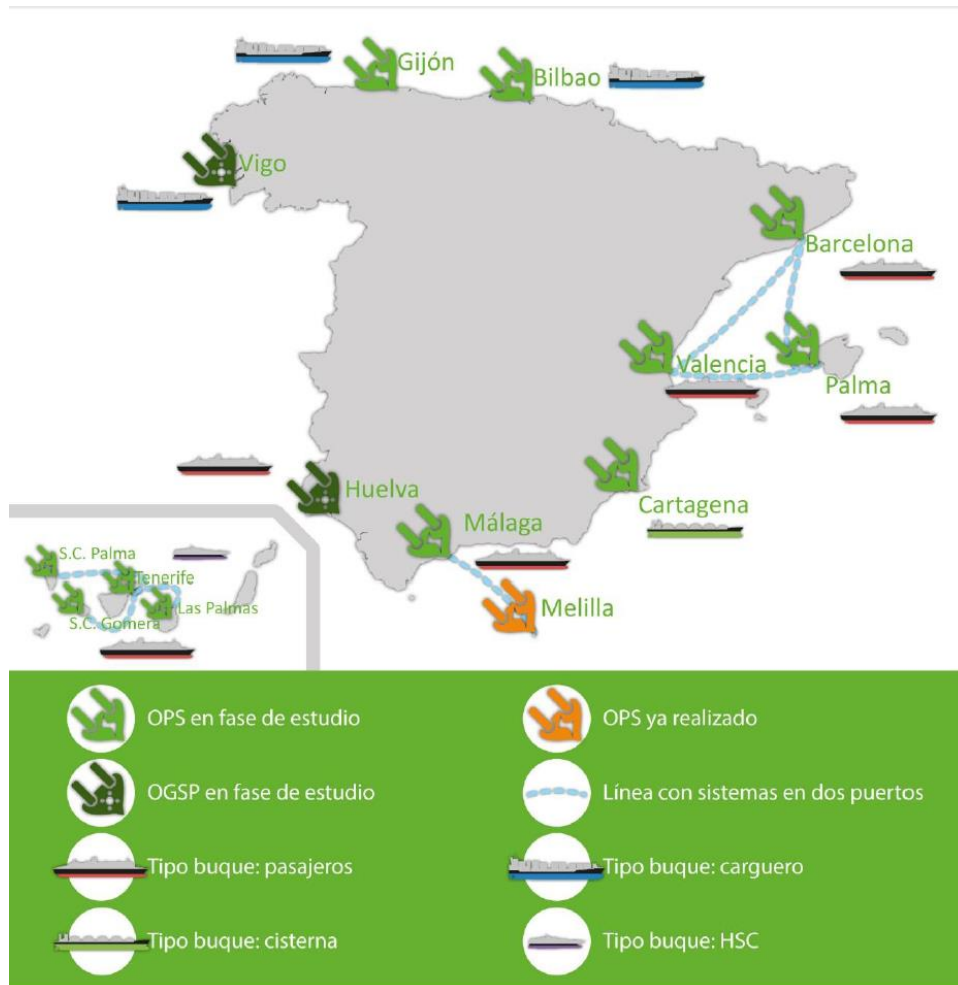


Ilustración 18. Mapa de las ubicaciones de los proyectos propuestos en octubre de 2016. Fuente: poweratbeth.eu (16)

En el proyecto se estudia los buques que frecuentan estos puertos de manera periódica y que pueden instalar un equipo de recepción OPS (Tabla 9). Todos los buques juntos podrían consumir potencialmente hasta 52 GWh. Se estima que el coste de adaptación de los sistemas eléctricos abordo en torno a 8.8 M€. (16)

Visemar One	Castillo de Trujillo	Volcán de Tauce	Corsar
Nissos Chios	L'Audace	Volcán de Taburiente	Endeavor
Tenacia	La Surprise	Volcán de Tijarafe	Magnus F
Zurbarán	Benchijigua Express	Volcán de Tamadaba	Flintercape
Islan Escape	Bencomo Express	Volcán de Tamasite	Ensemble
SNAV Adriático	Bentago Express	Fortuny	Encounter
Scandola	Bocayna Express	Sorolla	Ice Crystal
Almudaina Dos	Bonanza Express	Cementos Cantábrico	Daniela B
Stolt Kingfisher	Volcan de Timanfaya	Encofrador	Enforcer
Tinerfe	Volcán del Teide	Philipp	

Tabla 9. Buques en estudio para la instalación de recepción OPS. Fuente: poweratberth.eu (16)

## Bonificación por uso de Cold Ironing

Uno de los principales incentivos para la instalación de equipos Cold Ironing es la reducción de la tasa de atraque de los buques que cuenten con esta tecnología.

*“A los buques que utilicen como combustible gas natural para su propulsión en alta mar, así como a los buques que durante su estancia en puerto utilicen gas natural o electricidad suministrada desde muelle para la alimentación de sus motores auxiliares: 0,5”.* Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante. (19)

Aquellos buques que se conecten a la red eléctrica portuaria tendrán un descuento con coeficiente 0,5. Esto quiere decir que tendrán una bonificación del 50%.

## Puerto de Melilla

El puerto de Melilla fue el pionero en España en el uso de instalaciones OPS. El motivo principal por el que se decidió ejecutar el proyecto fue la contaminación acústica en las zonas residenciales circundantes además de las emisiones contaminantes, ya que el puerto está integrado en la estructura de la ciudad. En 2014 se instaló un equipo para el suministro a buques RO-PAX. El primer buque que lo usó fue el *Volcán de Tinamar* (Ilustración 19), que tuvo que ser adaptado para poder recibir la energía eléctrica. (16)



*Ilustración 19. Volcán de Tinamar en el Muelle Espigón en el Puerto de Melilla. Fuente: puertos.es*

El sistema consiste en una única conexión instalada en el Muelle Espigón (Ilustración 20), que suministra energía a baja tensión, 400 V y 50 Hz. La potencia máxima disponible es de 700 kW.



*Ilustración 20. Monaguillo de conexión a buques en el Muelle Espigón, en el Puerto de Melilla.  
Fuente: puertos.es*



## Cold Ironing en Canarias

En Canarias existen 4 puertos en los que se ha llevado a cabo un estudio de viabilidad para la posible instalación de la tecnología OPS. Estos puertos son:

- Santa Cruz de Tenerife
- Santa Cruz de La Palma
- San Sebastián de La Gomera
- Las Palmas

Los buques a considerar en este estudio son de tipo HSC (High-Speed Craft) y RO-PAX de las navieras *Fred Olsen* y *Naviera Armas*, dedicados al tráfico de pasajeros y tráfico rodado. (16)

En el puerto de Santa Cruz de Tenerife habrá 3 puntos de conexión (Ilustración 21), uno en el Muelle de Ribera I y dos en el Pantalán Anaga, que en conjunto trabajarán a una potencia máxima aproximada de 800 kW, en baja tensión (400 V) y 50 Hz. (16)



### OPS installation at Santa Cruz de Tenerife Port



Ilustración 21. Representación de la instalación OPS en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: [poweratberth.eu](http://poweratberth.eu)

En el puerto de Santa Cruz de La Palma se estudia la instalación de 2 puntos de conexión (Ilustración 22), uno en el Pantalán y otro en el Dique Este, con una potencia máxima de 720 kW y trabajando a 400 V y 50 Hz. (16)



## OPS installation at Santa Cruz de La Palma Port

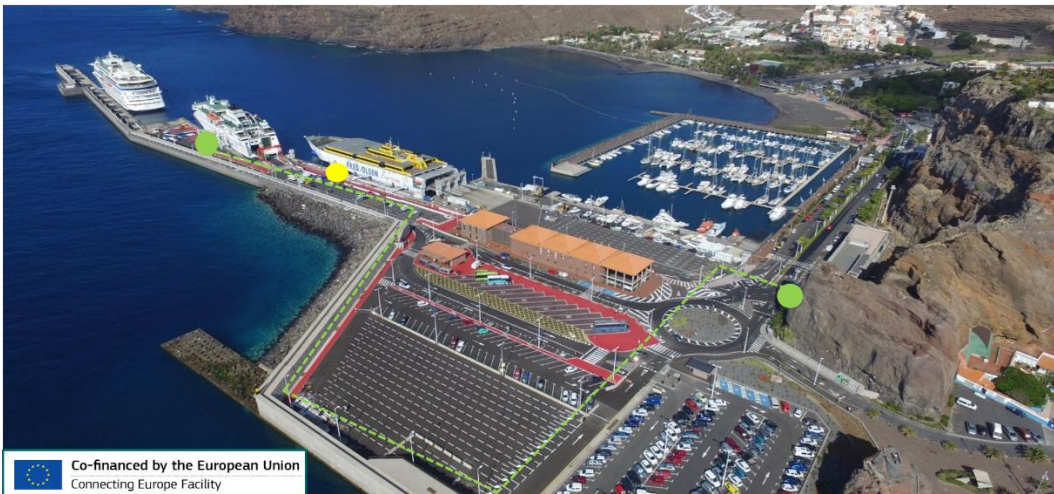


*Ilustración 22. Representación de la instalación OPS en el Puerto de Santa Cruz de La Palma.*  
Fuente: poweratberth.eu

En el puerto de San Sebastián de La Gomera se determinó que habrá un punto de conexión, sin embargo, recientemente se estudió la posibilidad de dos puntos de conexión. Con una potencia máxima de 720 kW a 400 V y 50 Hz. (16)



## OPS installation at San Sebastián de la Gomera Port



*Ilustración 23. Representación de la instalación OPS en el Puerto de San Sebastián de La Gomera.*  
Fuente: poweratberth.eu

En el Puerto de Las Palmas se determinó que el sistema OPS contara con un único punto de conexión situado en el muelle de Grande Poniente, lugar de atraque de los buques HSC de la naviera *Fred Olsen*. El punto de conexión trabajaría a 400 V y 50 Hz con una potencia máxima disponible de 160 kW. (16)



Tal y como se muestra en el ANEXO 2 el coste de la instalación en los puertos de la Autoridad Portuaria de Tenerife es de 3.489.259 € y el coste de la instalación en los buques de 1.637.196 €. En cuanto al gasto de una instalación OPS anual, teniendo en cuenta una amortización de 10 años con un interés del 6%, la instalación suma un total de 1.429.675 € anuales, mientras que el consumo de fuel en puerto por los buques del estudio suma un total de 1.485.659 € anuales, una diferencia de únicamente 55.985 €. (16)

En cuanto al puerto de Las Palmas, en el ANEXO 3 se observa un coste de la instalación portuaria de 859.634 €. Anualmente la instalación tendrá un gasto de 162.317 € frente a los 92.525 € que cuesta el combustible para los motores auxiliares de los buques del estudio. (16)

# Cold Ironing en el puerto de Santa Cruz de Tenerife

## Antecedentes

El Puerto de Santa Cruz de Tenerife es puerto base para diversas líneas regulares que unen la isla de Tenerife con el resto de las islas de la provincia, permaneciendo algunos de ellos durante la noche atracados en escalas de 6 – 8 horas. Esto les supone utilizar los motores auxiliares y consumir un combustible con gran contenido en azufre y altamente contaminante.

La alternativa de conectarse a una red de suministro eléctrico en puerto sería muy ventajosa para todas las partes, no sólo por las reducciones de ruido, vibraciones y emisiones contaminantes que se lograría en la zona portuaria, sino también por los menores costes operativos derivados de la electricidad generada en el puerto, y las menores actividades de mantenimiento requeridas por tanto en los motores auxiliares de los buques que reducirían los costes de las navieras.

## Configuración del puerto

El Puerto de Santa Cruz de Tenerife cuenta con cuatro dársenas y una zona destinada a la carga y descarga de combustible. En dirección sur – norte, se encuentra en primer lugar con el muelle de Hondura y la zona de fondeo (campo de boyas) destinado a la descarga y carga de combustible para la refinería de CEPSA.

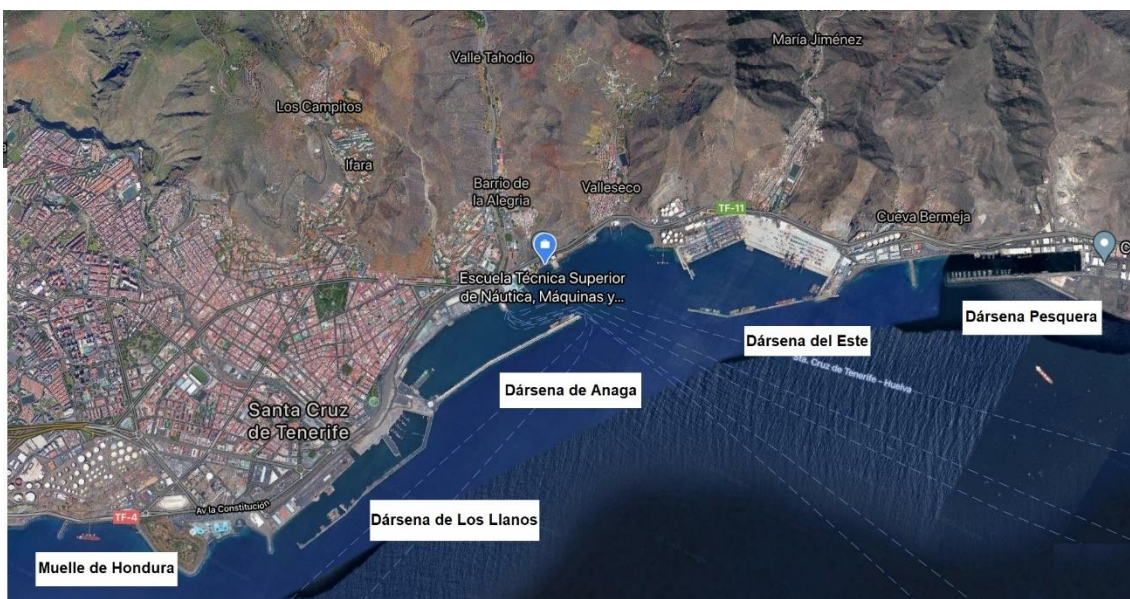


Ilustración 24. Configuración de los muelles y dársenas del Puerto de Santa Cruz de Tenerife.  
Fuente: google.es/maps

A continuación, está la Dársena de Los Llanos con un uso polivalente y la ubicación de una marina deportiva. La Dársena de Anaga se destina al tráfico interinsular, mercancías y atraque de cruceros. Es aquí donde se encuentran localizados los muelles objeto de este estudio.

La Dársena del Este está destinada al uso comercial con la ubicación de dos terminales de contenedores, carga y descarga de graneles líquidos y sólidos. Por último, se encuentra la Dársena de Pesca, para uso comercial (pesca) y una marina deportiva.

La Dársena de Anaga cuenta con 10 zonas de atraque:

Nombre	Longitud (m)	Calado (m)
Tercera Muelle Sur	805	12
Segunda Muelle Sur	328.5	10
Segunda Muelle Sur	134.5	8.5
Primera Muelle Sur	83	8
Pantalán Anaga Dique	147	8
Pantalán Anaga Ribera	147	8
Primera Ribera	168	6.5
Segunda Ribera	395	8
Tercera Ribera	382	10
Muelle Norte	103	8

Tabla 10. Alineaciones de la Dársena de Anaga. Fuente: puertosdetenerife.org

El ámbito de actuación del proyecto se limita a la zona de la Primera Alineación de Ribera (Ribera I) y el Pantalán de Anaga.

El Muelle Ribera I dispone de dos pasarelas fijas para el embarque/desembarque de pasajeros. Tiene un tacón provisto de tres rampas para la carga/descarga de tráfico rodado. Los buques que habitualmente atracan en este muelle son los Fast Ferry *Bencomo Express*, *Bentago Express* y *Bonanza Express* de la Naviera *Fred Olsen*. (20)

El Pantalán de Anaga es un muelle de 147 metros (200 hasta el duque de alba). Cuenta con dos puntos de atraque, la banda noroeste (denominada Pantalán Anaga Ribera) y la sureste (Pantalán Anaga Dique). Los buques que habitualmente atracan son los RO-PAX *Volcán de Tamadaba*, *Volcán de Tijarafe*, *Volcán de Timanfaya*, *Volcán del Teide* (20) y estos últimos años los Fast Ferry *Villa de Agaete* y *Volcan de Tagoro*, todos de la Naviera *Armas*.



Ilustración 25. Ubicación de los muelles objeto de estudio: Muelle I Ribera y Pantalán de Anaga.  
Fuente: Google.es/maps

## Demanda eléctrica

El proyecto para la instalación de suministro eléctrico en el Puerto de Santa Cruz trata de satisfacer unas demandas de potencia para los buques de estudio (Tabla 11). Se observa que en general los buques cuentan con una tensión nominal de entre 380 y 400 V y una frecuencia de trabajo de 50 Hz, siendo la potencia media requerida de 80 kW para los HSC de *Fred Olsen* y alrededor de 800 kW para los RO-PAX de *Naviera Armas*.

Buque	Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	Potencia media (kW)
Volcán de Timanfaya	400	50	800
Volcán de Tamasite	400	50	800
Volcán de Tamadaba	400	50	800
Volcán del Teide	400	50	800
Bencomo Express	380	50	80
Bentago Express	380	50	80
Bonanza Express	380	50	80

Tabla 11. Características eléctricas de cada buque.  
Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (21)

Para satisfacer esta demanda se instalarán tres puntos de conexión (Tabla 12). Uno de estos puntos se encontrará en el Muelle Ribera I para los buques de *Fred Olsen* y los otros dos se encontrarán en el Pantalán de Anaga para abastecer a los buques de *Naviera Armas*.

En función de las características de corriente de los buques, la alimentación se realizará a una tensión de 400 V y una frecuencia de 50 Hz.

Receptor	Puntos de conexión	Consumo (kW)	Tensión (V)
Muelle Ribera I	1	80	400
Pantalán de Anaga	2	800	400

*Tabla 12. Características de los puntos de conexión.  
Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife. (21)*

Para que llegue una tensión de 400 V a los puntos de conexión será necesario transformar la electricidad que llega al puerto para rebajar el voltaje. En el ANEXO 4 se muestra la canalización y distribución eléctrica existente y de nueva instalación.

## Pantalán de Anaga

Para la alimentación de los puntos de conexión emplazados en el Pantalán de Anaga se requiere de la instalación de un centro de transformación CT – 01 ubicado al lado del pantalán (véase ANEXO 5). Este centro transforma la electricidad que viene a 20 kV (MT) a 400 V (BT).

Desde el centro de transformación CT – 01 se alimenta el cuadro general CP – 1 donde parten 5 líneas trifásicas a cada uno de los dos puntos de conexión del pantalán EGC – 02 y EGC – 03.

Para el Pantalán de Anaga se ha seleccionado un sistema de gestión de cable tipo grúa de elevación con base fija (Ilustración 26) para suministrar los 800 kW a una tensión de 400 V y una frecuencia de 50 Hz. Cuenta con 5 cables de conexión al barco terminados cada uno de ellos en un conector trifásico. Los cinco cables de conexión al buque son guiados hasta la abertura donde se recogerán desde el interior con un gancho. Cada cable tiene 13 metros de longitud útil.

Se ha estudiado la simultaneidad de atraque en las dos bandas del Pantalán de Anaga, obteniendo valores muy reducidos, por lo que, aunque se instalen dos puntos de conexión, se considera un único suministro simultáneo. Es decir, aunque haya dos buques en el Pantalán, sólo uno podrá conectarse a la red eléctrica.

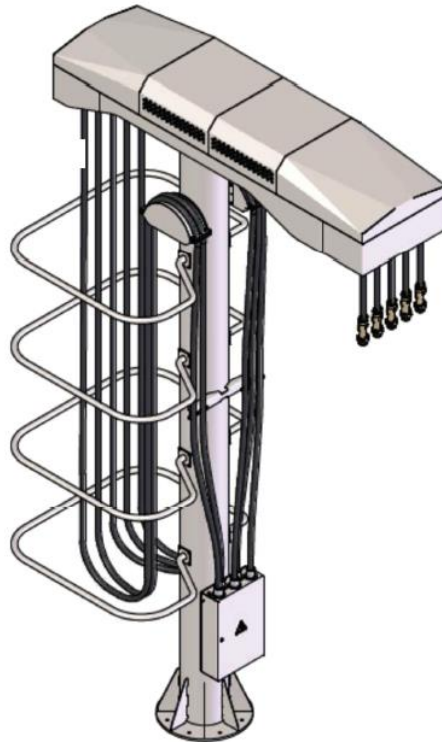


Ilustración 26. Representación de equipo de gestión de cable tipo grúa con base fija.  
Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (21)

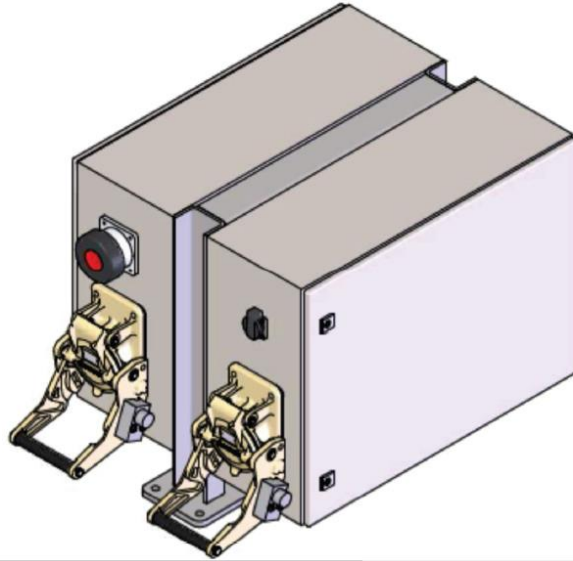
## Muelle Ribera I

En el caso de la alimentación del punto de conexión del Muelle Ribera I, se alimentará desde una CGP (Caja General de Protección) indicada por la compañía suministradora en el cual hay una tensión de 400 V. La corriente llegará a un cuadro CP – 2 instalado en el muelle desde el que se alimenta una caja de tomas EGC - 03 con dos conectores (véase ANEXO 6).

En el caso del muelle de Ribera I, a diferencia del Pantalán de Anaga, se ha decidido instalar una caja de tomas (Ilustración 27) que suministra 80 kW a 400 V y 50 Hz. La caja de tomas cuenta con dos conectores, los ferrys de *Fred Olsen* podrán conectarse con sus propios cables.

Si coinciden atracados un buque en el Muelle Ribera I y otro en el pantalán de Anaga no influiría en el diseño de la instalación puesto que las alimentaciones de ambos puntos de conexión provienen de puntos de suministro independientes.





*Ilustración 27. Representación de la caja de tomas.  
Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife. (21)*

## Sistema de Seguridad y Control

El sistema de control y monitorización automatizado estará formado por un controlador lógico programable, pantallas de visualización y conexión de telecomunicaciones externa.

En caso de emergencia debe contar con un sistema de desconexión automática (disparo de emergencia) que dispare los interruptores que protegen el sistema de gestión de cable, tanto en el lado de puerto como en el buque. Se contará con dos pulsadores de emergencia en las tomas de conexión y en el centro de transformación. (21)

## Reforma eléctrica para cada tipo de buque

La adaptación de los buques para recibir energía eléctrica del puerto no requiere de una reforma a gran escala. Esto se debe a que reciben la electricidad con la misma tensión con la que trabajan y no es necesario la instalación de un transformador reductor a bordo.

- Fast Ferry *Fred Olsen*

Este tipo de buque permite la conexión en baja tensión sin añadir ningún equipo a bordo, no obstante, se recomienda la instalación de un sistema de gestión de potencia además de un armario de entrada con dos tomas trifásicas. (20)

La reforma de todos los buques tiene un coste estimado de 120.000 €. (20)

- Ferry Ro-PAX *Naviera Armas*

Al igual que el fast ferry, se debe instalar un sistema de gestión de potencia y un armario de entrada, en este caso con cinco tomas trifásicas. (20)

La reforma de todos los buques tiene un coste estimado de 300.000 €. (20)

## Cálculo de reducción de emisiones

La instalación de un sistema Cold Ironing reduce drásticamente las emisiones de contaminantes del puerto de Santa Cruz de Tenerife y por tanto de los barrios cercanos al puerto. La energía eléctrica en este caso vendría de las centrales de generación como la Central Térmica de Candelaria o La Central Térmica de Granadilla. En la Tabla 13 se observa una comparación entre los factores de emisión por kWh generado entre los motores auxiliares de los buques y las centrales de generación de energía de Tenerife.

	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	SO <sub>x</sub> (g/kWh)	CO <sub>2</sub> (g/kWh)
Factores de emisión para motores auxiliares en puerto	11,8	0,46	690
Factores de emisión para la producción de energía eléctrica en Tenerife	1,69	0,86	677,26
Diferencia entre factores de emisión	10,11	- 0,40	12,74
Porcentaje de reducción	85,7%	- 85,9%	1,9%

Tabla 13. Reducción de emisiones utilizando Cold Ironing en vez de motores auxiliares en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (20)

Al comparar los factores de emisión por kWh generado entre la producción de energía eléctrica en Tenerife y los motores auxiliares en puerto se observa que una instalación de un Sistema Cold Ironing reduciría de manera considerable la cantidad de emisiones de óxidos nitrosos. Las emisiones de dióxido de carbono no se ven prácticamente afectadas mientras que las de óxidos de azufre aumentan.

Suponiendo una tasa de ocupación del 17% para el pantalán de Anaga y del 54% para el Muelle Ribera (ANEXO 7.B). Una vez instalado el sistema de Cold Ironing, se estima una reducción de 34,60 toneladas de CO<sub>2</sub> y de 27,45 toneladas de NO<sub>x</sub> al año. Sin embargo, se observa un crecimiento poco representativo de 1,09 toneladas de SO<sub>x</sub> (ANEXO 7.E).

## Análisis de rentabilidad

La instalación de un sistema OPS requiere de una inversión inicial tanto de la autoridad portuaria para realizar las obras de la instalación que suministra la electricidad como de las navieras para la adaptación de los buques que la reciben.

Para realizar un análisis de rentabilidad de la inversión a realizar tanto por la Autoridad Portuaria como por las navieras se toman algunos datos como el precio del combustible, el precio de la generación y comercialización de la electricidad, el coste externo de las emisiones, los factores de emisión o la tasa de ocupación de los muelles a estudiar.

Se realizará una comparación entre el coste del uso de motores auxiliares y el del Cold Ironing al año. En primer lugar, se parte del precio estimado de la instalación OPS en el puerto de Santa Cruz, que es de alrededor de 1.300.000 € y el precio estimado de la inversión en buques, alrededor de 420.000€. Sobre un 20% del presupuesto para las obras e inversión en buques está subvencionado por la Unión Europea. Para el cálculo se supone una amortización en 10 años con un interés del 6%.

El precio del MGO en Canarias es de unos 720 €/ton y el de la electricidad alrededor de 30 €/kW de potencia instalada y 23,45 c€/kWh de energía consumida (ANEXO 7.A). Para el análisis también se tiene en cuenta el coste externo de las emisiones, tanto de los motores en puerto como de la generación en la central. (22)

La tasa de ocupación se ha calculado realizando una media de los atraques de los buques de cada naviera en una semana cualquiera (ANEXO 7.B). Para los buques de *Naviera Armas* se obtiene una tasa de ocupación de un 17% mientras que para *Fred Olsen* un 54%.

Una variable importante para tener en cuenta es la bonificación del 50% según la Ley de Puertos. Suponiendo las tasas portuarias, la tasa de bonificación y la ocupación previamente estudiada, se obtiene un ahorro anual de 92.536 € para cada buque de *Naviera Armas* y de 89.681 € para cada buque de *Fred Olsen* (ANEXO 7.C).

Entre todos los buques del estudio se consumen al año aproximadamente 2.715.600 kWh. Esto supone unos 684.808 € anuales. A esto se le suma el gasto en la inversión portuaria e inversión en los buques y da como resultado unos 900.000€ al año.

En cuanto al gasto anual de los motores auxiliares, tomando una media de consumo estándar de 217 gr/kWh, se consumen unas 589 toneladas de combustible. Sumando el gasto de mantenimiento, supone unos 389.407 € al año.

A priori hay una gran diferencia entre el precio del uso de motores auxiliares y el precio del Cold Ironing, sin embargo, si se tiene en cuenta la bonificación en la tasa de atraque del 50%, entre todos los buques suman un descuento de 549.506 €. Por lo que el gasto anual del Cold Ironing, sumando el mantenimiento sería de unos 375.776 € (ANEXO 7.D)

Motores auxiliares	Cold Ironing
389.407 €	375.766 €

Tabla 14. Comparación del coste anual de los motores auxiliares y del Cold Ironing en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife. Fuente: elaboración propia

Por último, si se tiene en cuenta los costes externos de las emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, que son todos aquellos costes soportados por la sociedad en general o por individuos ajenos a la actividad que los genera y que están asociados con impactos negativos sobre la salud, medioambientales o estéticos, se obtiene un coste anual de 160.888 € para las emisiones de los motores auxiliares y 45.997€ para las emisiones equivalentes a la electricidad suministrada a los buques en la planta de generación eléctrica.

Por tanto, suponemos un coste total anual de 550.294€ de los motores auxiliares y 421.774 € de la instalación Cold Ironing (ANEXO 7.E).

Motores auxiliares	Cold Ironing
550.294 €	421.774 €

Tabla 15. Comparación del coste anual de los motores auxiliares y del Cold Ironing sumando los costes externos. Fuente: elaboración propia

## Conclusiones

El Cold Ironing es un método de reducción de emisiones que está comenzando a implementarse en muchos puertos de España. Canarias es la comunidad autónoma en la que se están llevando a cabo más proyectos de Cold Ironing: en cuatro de las siete islas.

Tras realizar un análisis sobre el Cold Ironing y su instalación en puertos canarios como el de Santa Cruz de Tenerife, se observa que no sólo mejora la calidad del aire, sino que puede llegar a ser más rentable económicamente que el uso de motores auxiliares.

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a la colaboración del proyecto OPS Master Plan for Spanish Ports y la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife, que compartieron los documentos sobre el proyecto que se está llevando a cabo en el puerto de Santa Cruz de Tenerife (ANEXO 8).

La intención inicial del trabajo era realizar un estudio detallado sobre todos los proyectos de Cold Ironing que se están instalando en las islas: San Sebastián de La Gomera, Santa Cruz de La Palma, Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife, sin embargo, los únicos documentos que se recibieron fueron de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife sobre el puerto tinerfeño. Se contactó también con la Autoridad Portuaria de Las Palmas de Gran Canaria sin éxito.

Pese a ello, el trabajo muestra las características de un sistema de Cold Ironing adaptado a las líneas regulares de cabotaje en un puerto canario. En los demás puertos, el sistema de Cold Ironing tiene como objetivo abastecer los buques de las mismas navieras: *Fred Olsen* y *Naviera Armas*, por lo que los sistemas serán análogos al del puerto de Santa Cruz de Tenerife.

Existe un proyecto para la incorporación de esta tecnología en los muelles Ribera II y Dique Sur en el puerto tinerfeño con el objeto de suministrar electricidad a los cruceros que visiten la isla. Se espera que cuente con 3 puntos de suministro y sea capaz de abastecer una demanda de más de 20.000 kW.

Los puertos canarios están avanzando hacia un futuro más limpio y con menos ruidos en los que la tecnología del Cold Ironing será algo normalizado durante en el atraque.



## Conclusions

Cold Ironing is an emission reduction method that is beginning to be implemented in many ports in Spain. Canarias is the autonomous community where the most Cold Ironing projects are being carried out: on four of the seven islands.

After carrying out an analysis of Cold Ironing and its installation in Canarian ports such as Santa Cruz de Tenerife, it is observed that not only does it improve air quality, but it can also become more economically profitable than the use of auxiliary motors.

The development of this work was possible thanks to the collaboration of the OPS Master Plan for Spanish Ports project and the Port Authority of Santa Cruz de Tenerife, who shared the documents on the project that is being carried out in the port of Santa Cruz de Tenerife. (ANNEX 8).

The initial intention of the work was to carry out a detailed study on all the Cold Ironing projects that are being installed on the islands: San Sebastián de La Gomera, Santa Cruz de La Palma, Las Palmas de Gran Canaria and Santa Cruz de Tenerife, however, the only documents received were from the Port Authority of Santa Cruz de Tenerife on the Tenerife port. The Port Authority of Las Palmas de Gran Canaria was also contacted without success.

Despite this, the thesis shows the characteristics of a Cold Ironing system adapted to regular cabotage (ni idea) lines in a Canarian port. In the other ports, the Cold Ironing system aims to supply the ships of the same shipping lines: Fred Olsen and Naviera Armas, so the systems will be similar to that of the port of Santa Cruz de Tenerife.

There is a project for the incorporation of this technology at the Ribera II and Dique Sur docks in the Tenerife port to supply electricity to cruise ships that visit the island. It is expected to have 3 supply points and be able to supply a demand of more than 20,000 kW.

Canarian ports are moving towards a cleaner and less noisy future in which Cold Ironing technology will be somewhat standardized during berthing.



## Referencias

1. OMI (Organización Marítima Internacional). *business.un.org*. [En línea] [Citado el: 30 de 04 de 2020.] <https://business.un.org/en/entities/13>.
2. ICS Shipping. *ics-shipping.org*. [En línea] [Citado el: 30 de 04 de 2020.] <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/shipping-and-world-trade>.
3. The Global Facilitation Partnership for Transportation and Trade. *Maritime Transport and Port Operations*. [En línea] [Citado el: 30 de 04 de 2020.] <https://gfptt.org/node/67>.
4. Merk, Olaf. The Competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report. *oecd.org*. [En línea] [Citado el: 13 de 05 de 2020.] <https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/Competitiveness-of-Global-Port-Cities-Synthesis-Report.pdf>.
5. The Guardian. *theguardian.com*. [En línea] [Citado el: 13 de 05 de 2020.] <https://www.theguardian.com/cities/2017/mar/21/timelapse-satellite-images-china-fastest-growing-cities>.
6. US Environmental Protection Agency. *epa.gov*. [En línea] [Citado el: 01 de 05 de 2020.] <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
7. International Chamber of Shipping. *ics-shipping.org*. [En línea] [Citado el: 01 de 05 de 2020.] <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/environmental-performance/comparison-of-co2-emissions-by-different-modes-of-transport>.
8. MAN B&W . *Emission control of Two-Stroke Low Speed Diesel Engines*. [En línea] 1997. [Citado el: 01 de 05 de 2020.] [www.flamemarine.com/files/MANBW.pdf](http://www.flamemarine.com/files/MANBW.pdf).
9. MARPOL 73/78 Edición refundida, 2002. *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques*. [En línea] 1973. [Citado el: 02 de 05 de 2020.] [http://www.dna.gob.ar/userfiles/23\\_marpol\\_73\\_78.pdf](http://www.dna.gob.ar/userfiles/23_marpol_73_78.pdf).



10. Wikipedia. *wikipedia.org*. [En línea] [Citado el: 02 de 05 de 2020.] [https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL\\_73/78](https://en.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78).
11. Guía de Gestión Energética en Puertos. *Puertos del Estado*. [En línea] 2013. [Citado el: 02 de 05 de 2020.] [http://www.puertos.es/es-es/Documents/guia\\_gestion\\_energetica\\_puertos\\_firmada.pdf](http://www.puertos.es/es-es/Documents/guia_gestion_energetica_puertos_firmada.pdf).
12. Fiadomor, Richard. ASSESSMENT OF ALTERNATIVE MARITIME POWER (COLD IRONING) AND ITS IMPACT ON PORT MANAGEMENT AND OPERATIONS. [En línea] 2009. [Citado el: 09 de 06 de 2020.] [https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1276&context=all\\_dissertations](https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1276&context=all_dissertations).
13. Santander, Alvaro. OPS Master Plan for Spanish Ports Project. Study of potential acoustic benefits of on-shore power supply at berth. *euronoise2018.eu*. [En línea] 2018. [Citado el: 09 de 06 de 2020.] [http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/477\\_Euronoise2018.pdf](http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/477_Euronoise2018.pdf).
14. Fazlagic, Patrik Ericsson & Ismir. Shore-Side Power Supply. *A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power in port*. [En línea] 2008. [Citado el: 11 de 05 de 2020.] <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174062/174062.pdf>.
15. G., Theodoros Papoutsoglou. A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits. [En línea] 2012. [Citado el: 06 de 05 de 2020.] [https://www.academia.edu/5981957/AColdIroningStudyonModernPorts\\_ImplementationandBenefits\\_ThrivingforWorldwidePorts](https://www.academia.edu/5981957/AColdIroningStudyonModernPorts_ImplementationandBenefits_ThrivingforWorldwidePorts).
16. Cueva, Julio de la. Medidas para la dotación de suministro eléctrico a buques en los puertos de interés general. *poweratberth.eu*. [En línea] 10 de 2016. [Citado el: 20 de 06 de 2020.] [http://poweratberth.eu/?page\\_id=208&lang=es](http://poweratberth.eu/?page_id=208&lang=es).
17. Alexander Innes, Jason Monios. Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports - The case of aberdeen. *sciencedirect.com*. [En línea] 21 de 03 de 2018. [Citado el: 21 de 06 de 2020.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917309124>.
18. OPS Master Plan for Spanish Ports. *poweratberth.eu*. [En línea] [Citado el: 23 de 06 de 2020.] [http://poweratberth.eu/?page\\_id=40&lang=es](http://poweratberth.eu/?page_id=40&lang=es).





19. Fomento, Ministerio de. 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. [En línea] [Citado el: 04 de 07 de 2020.] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-16467-consolidado.pdf>.

20. Monge, S. Blanco. *Estudio de Viabilidad del Proyecto de Suministro Eléctrico a buques en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife*. s.l. : Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife, 2014.

21. González, Antonio Calbo. *Proyecto Instalación Eléctrica de Suministro a Buques Muelles Ribera I y Pantalán de Anaga Puerto de Santa Cruz de Tenerife*. s.l. : Autoridad Portuaria Santa Cruz de Tenerife, 2019.

22. Mike Holland, Paul Watkiss. Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe. *Netcen*. [En línea] 2004. [Citado el: 06 de 07 de 2020.] <https://ec.europa.eu/environment/enveco/air/pdf/betaec02a.pdf>.

23. Masterplan for OPS in Spanish ports 2015-EU-TM-0417-S. *Comisión Europea*. [En línea] 10 de 2016. [Citado el: 23 de 06 de 2020.] [https://ec.europa.eu/inea/sites/inea/files/fiche\\_2015-eu-tm-0417-s\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/inea/sites/inea/files/fiche_2015-eu-tm-0417-s_final.pdf).

## Anexos

### 1. Coste de la energía eléctrica en un puerto

<b>CONSUMO ELÉCTRICO</b>			
Potencia media de suministro en puerto	1499	KW	
Consumo eléctrico anual en puerto	16.033.623	KWh	
<b>COSTE ASOCIADO AL SUMINISTRO ELÉCTRICO</b>			
PEAJE ACCESO - TÉRMINO POTENCIA	350.967,08	€/año	
PEAJE ACCESO - TÉRMINO ENERGÍA	97.342,20	€/año	
COSTE ENERGÍA - COMERCIALIZADORA	669.761,42	€/año	
	Mín	Máx	
MARGEN BENEFICIO - COMERCIALIZADORA	10%	15%	
SUBTOTAL	1.229.877,77	1.285.781,30	€/año
IMPUESTO SOBRE ELECTRICIDAD	5,11269632%	5,11269632%	
SUBTOTAL	1.292.757,68	1.351.519,40	€/año
IVA	21%	21%	
<b>TOTAL ANUAL</b>	1.564.236,80	1.635.338,47	€/año
<b>TOTAL MENSUAL</b>	130.353,07	136.278,21	€/mes

ANEXO 1. Fuente: poweratberth.eu (16)

## 2. Coste instalación eléctrica de puertos de Santa Cruz de Tenerife.

Puerto	Santa Cruz de las Palmas		San Sebastián de la Gomera	Santa Cruz de Tenerife			Totales	
	Pantalán	Dique Este	2ª Alineación Dique Este	Muelle Ribera AL I	Anaga Pantalán Ribera I Norte	Anaga Pantalán Ribera I Sur		
Muelles a instalar OPS	1	1	1	1	1	1	6	Pt.
Números de conexión por muelle	1,0	1,0	0,8	1,0			2,8	MVA
Potencia máxima	1.065.558	1.054.125	1.369.575			3.489.259	€	
Coste dotación OPS	Bentago Express Bencomo Express Bonanza Express Benchijigua Express			Volcán de Tijarafe Volcán de Tamadaba Volcán de Timanfaya Volcán del Teide Volcán de Tamasite Volcán de Tirajana Volcán del Tauce Volcán de Taburiente			12	Buques
Buques a adaptar	Fred Olsen			Armas			1.637.196	€
Naviera	545.732			1.091.464			1.637.196	€
Coste adaptación buques	3.260	2.475	13.710			19.444	Horas	
Número total de horas en puerto	1,2	1,5	4,1			6,8	GWh	
Suministro								

	OPS	FUEL	Diferencial OPS FUEL	
Amortización e intereses OPS <i>(10 años con una tasa de interés del 6%)</i>	306.824	-		€/año
Amortización e intereses conexiones a bordo <i>(10 años con una tasa de interés del 6%)</i>	143.965	-		€/año
Consumo de energía	684.974	657.837		€/año
Tasas T1 & Desgastes motores	293.911	827.822		€/año
<b>Total financiero</b>	<b>1.429.675</b>	<b>1.485.659</b>	<b>-55.985</b>	€/año

	OPS	FUEL	Diferencial OPS FUEL	
Coste Emisiones	66.405	427.576		€/año
Coste Ruido	-1.767	-		€/año
<b>Total Financiero - económico</b>	<b>1.494.312</b>	<b>1.913.235</b>	<b>-418.923</b>	€/año

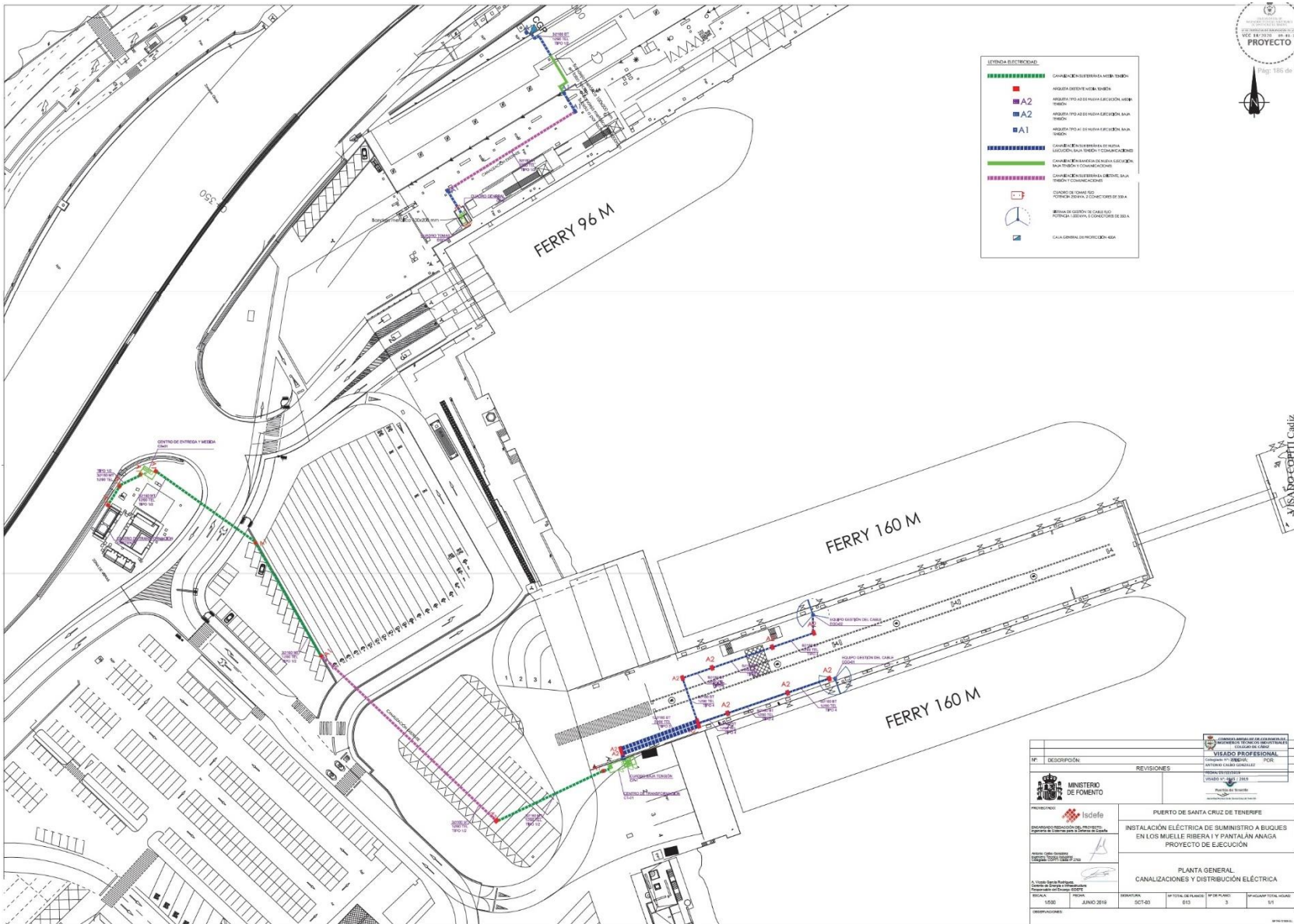
ANEXO 2. Fuente: poweratberth.eu (16)

### 3. Coste instalación eléctrica de Las Palmas.

CONCLUSIONES						
INFORMACIÓN	Muelles a instalar OPS	Muelle del Grande Poniente			Totales	
	Números de conexión por muelle	1			1	Pt.
	Potencia máxima	0,2			0,2	MVA
	Coste dotación OPS	859.634			859.634	€
	Buques a adaptar	BONANZA EXPRESS	BENTAGO EXPRESS	BENCOMO EXPRESS	3	Buques
	Naviera	Fred Olsen	Fred Olsen	Fred Olsen		
	Coste adaptación buques	136.433	136.433	136.433	409.299	€
	Número total de horas en puerto	1.508	601	36	2.145	Horas
Suministro	0,23	0,09	0,01	0,3	GWh	
COSTES		OPS	FUEL	Diferencial OPS-FUEL		
	Amortización e intereses OPS <i>(10 años con una tasa de interés del 6%)</i>	75.591	-		€/año	
	Amortización e intereses conexiones a bordo <i>(10 años con una tasa de interés del 6%)</i>	35.991	-		€/año	
	Consumo de energía	40.645	31.169		€/año	
	Tasas T1 & Desgastes motores	10.090	61.356		€/año	
	<b>Total financiero</b>	<b>162.317</b>	<b>92.525</b>	<b>69.792</b>	€/año	
		OPS	FUEL	Diferencial OPS-FUEL		
	Coste Emisiones	3.146	20.259		€/año	
	Coste Ruido	-2.726	-		€/año	
	<b>Total Financiero - económico</b>	<b>162.737</b>	<b>112.784</b>	<b>49.953</b>	€/año	

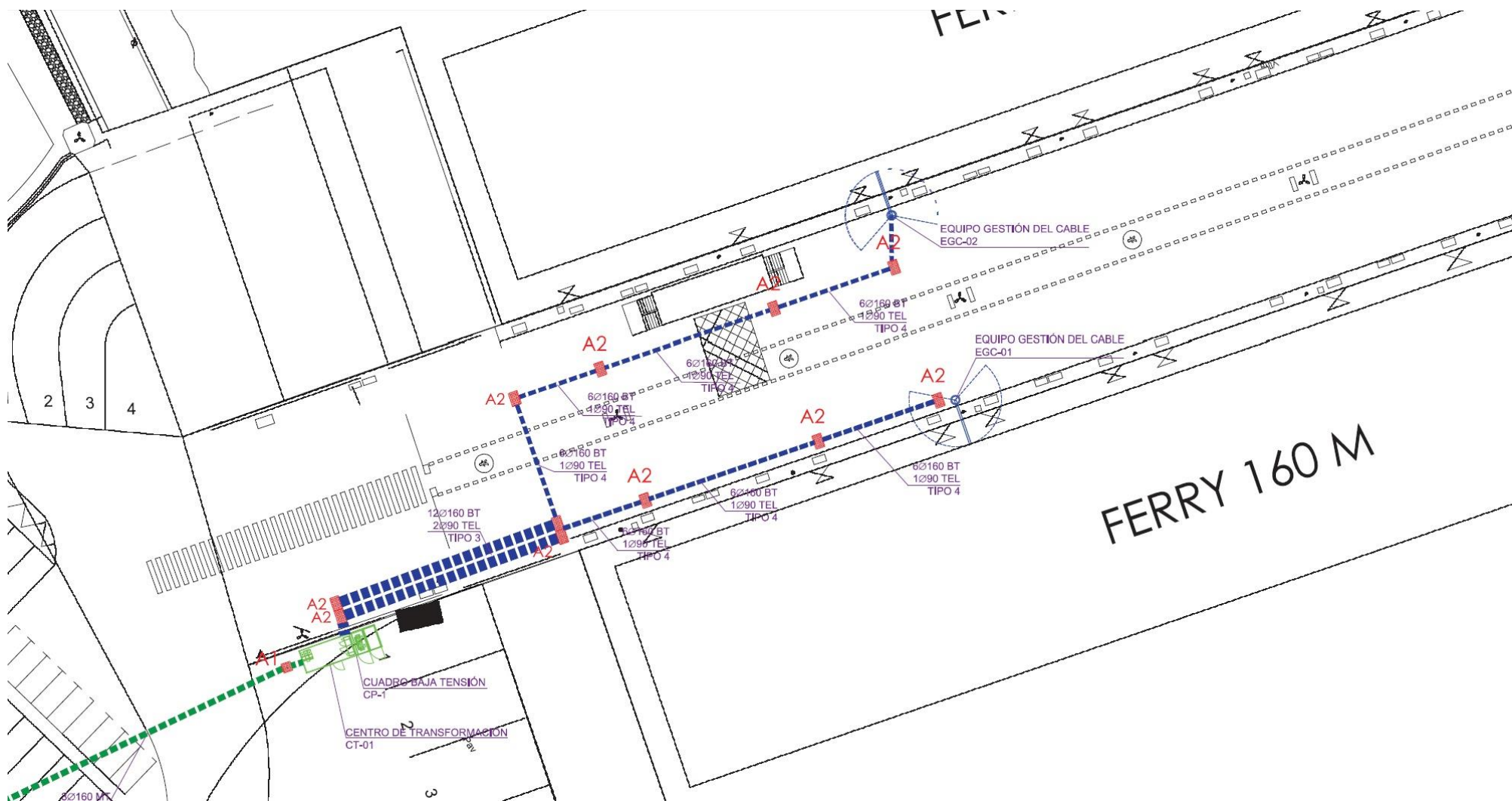
ANEXO 3. Fuente: poweratberth.eu (16)

#### 4. Planta General Puerto Santa Cruz. Canalizaciones y distribución eléctrica.



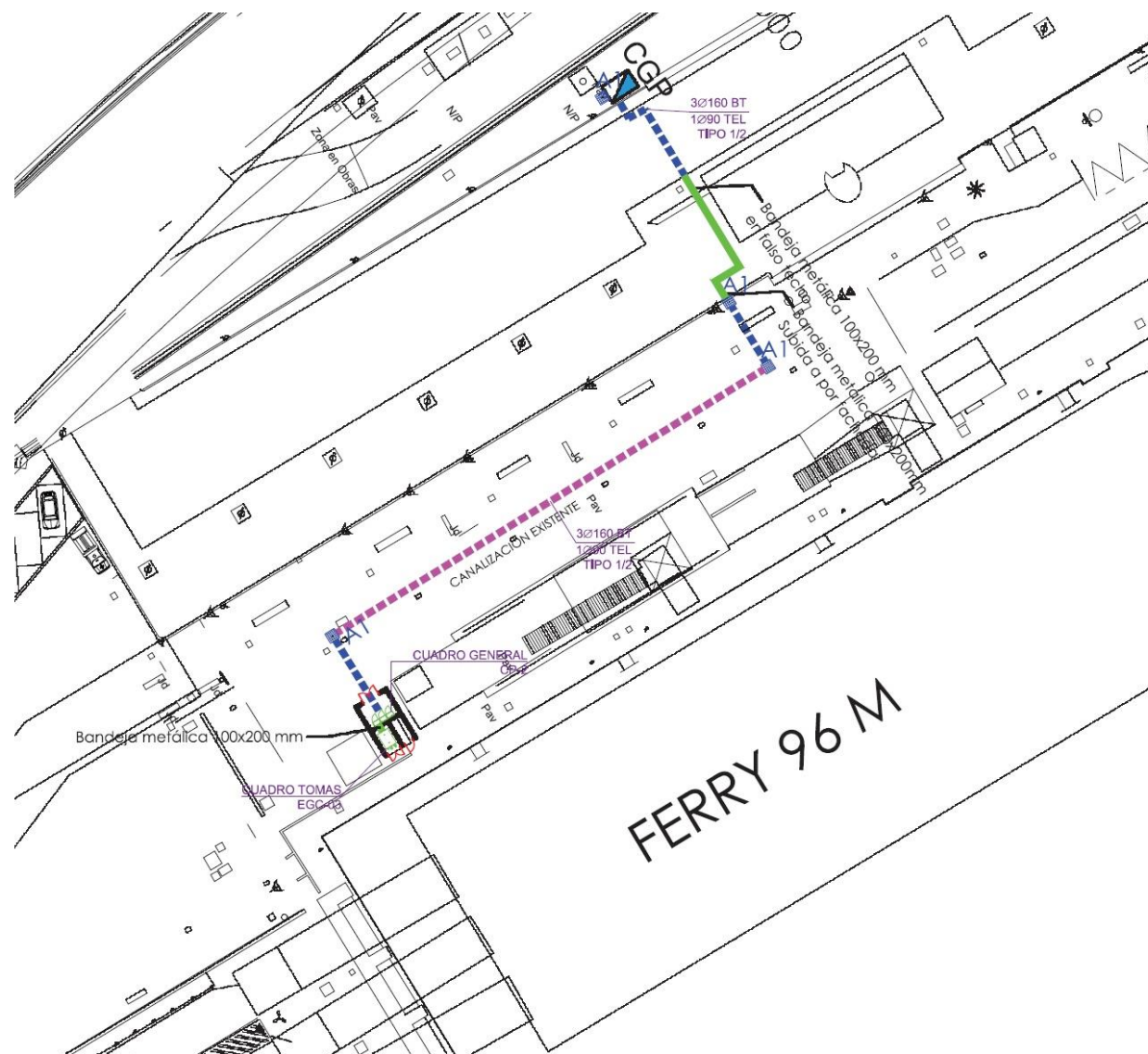
ANEXO 4. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (21)

## 5. Planta Pantalán de Anaga. Canalizaciones y distribución eléctrica



ANEXO 5. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (21)

## 6. Planta Muelle Ribera I. Canalizaciones y distribución eléctrica.



ANEXO 6. Fuente: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife. (21)

## 7. Análisis de rentabilidad

### A. Datos Generales

#### DATOS GENERALES

##### INVERSIÓN

Tasa de interés	6	%
Periodo de amortización	10	años

##### PRECIOS

Fuel			
LSMGO (Low Sulphure Marine Gasoil)	720		\$/ton
Cambio (€/€)	1,125		€
Electricidad			
	<b>Potencia</b>	30	€/kW
Precio de generación	16,00		c€/kWh
Peaje	2,400		c€/kWh
Recargo exceso potencia	-		c€/kWh
Recargo exceso reactiva	-		c€/kWh
Precio comercialización	5,00		c€/kWh
Impuesto eléctrico reducido	0,05		c€/kWh
	<b>Energía</b>	23,45	c€/kWh

##### COSTES EXTERNOS EMISIONES

CO2	5	Euros/ton
SO2	5.600	Euros/ton
NOx	4.400	Euros/ton

##### FACTORES DE EMISIÓN

##### Fuel

g/kWh	
CO2	690,00
SO2	0,46
NOx	11,80
PM	0,05

##### Electricidad

Factor de emisiones generación electricidad Tenerife

g/kWh	
CO2	677,26
SO2	0,86
NOx	1,69
PM	0,05



## B. Datos del proyecto

### Datos del proyecto

PROYECTO	
Puerto	Santa Cruz de Tenerife
Muelle/s	Muelle Ribera I / Pantalan Anaga
Buque/s	Fred Olsen / Armas

DATOS PANTALAN ANAGA		
Tomas eléctricas en muelle	2	ud
Buques	4	ud
Potencia auxiliares	800	kW
Escalas por buque	365	ud
Conexión media en atraque	2	h
Tiempo conexión a red	2920	horas
Ocupación instalación	17	%

ESCALAS ENTRE 10/02/2020 - 16/02/2020		
Volcán de Timanfaya	2	h/semana
Volcán del Teide	16	h/semana
Volcan de Tamadaba	8	h/semana
Volcán de Tamasite	31	h/semana
TOTAL	57	h/samana
	8	h/día
Media para un buque	2	h/día

Entre todos los buques de ARMAS suman una media de 8 horas al día atracados, por tanto, por cada buque se estima una media diaria de 2 horas de atraque

DATOS RIBERA I		
Tomas eléctricas en muelle	1	ud
Buques	2	ud
Potencia auxiliares	80	kW
Escalas por buque	365	ud
Conexión media en atraque	6,5	h
Tiempo conexión a red	4745	horas
Ocupación instalación	54	%

ESCALAS 07/01/2020	
Bencomo Express	10 h/día
Bentago Express	3 h/día
TOTAL	13 h/día
Media para un buque	6,5 h/día

Entre todos los buques de F. OLSEN suman una media de 13 horas al día atracados, por tanto, por cada buque se estima una media diaria de 6,5 horas de atraque

### C. Bonificación legal del 50%

#### Estimación bonificación legal del 50 % (Ley de Puertos)

	GT	GT/100	Estadía (horas)	Cuantía (€/100 GT)	Coefficiente de reducción	Nº de escalas	Tasa T1 Reducción (€)
Buque tipo armas	21.127	211,27	2	1,20	0,5	365	92.536
Buque tipo olsen	6.300	63	7	1,20	0,5	365	89.681

El puerto de Tenerife cobra cada atraque de buques de cabotaje insular con un coeficiente de 1,20 €/100 GT y según la Ley de puertos debe descontar un 50% a aquellos buques que usen Cold Ironing

## D. Cálculos

### Anexo de cálculos

	Fuel	OPS
<b>Inversión en muelle</b>		
Transformación de tensión		
Convertidor de frecuencia		
Control, protección, cableado, etc.		
Obra civil		
Equipo manipulación manguera eléctrica		
Inversión total		1.300.000,00
Inversión subvencionada (20%)		1.040.000,00
Coste anual inversión		141.302,68
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		20.800,00
Gasto anual en el muelle		162.102,68
<b>Inversión en buques</b>		
Transformador		
Panel de control		
Cableado		
LVS modificación y sincronización		
Otros		
Inversión total		420.000,00
Inversión subvencionada (20%)		336.000,00
Coste anual inversión (6 % en 10 años)		45.651,63
Mantenimiento y otros (2 % s/inversión)		6.720,00
Gasto anual de buques		52.371,63
<b>Combustible</b>		
Consumo & potencia (medios)	gr/kWh 217 Ton	800 / 80 kW KWh
Consumo anual de combustible	589	2.715.600
Gasto anual de combustible	377.143	684.808
<b>Desgaste de motores</b>		
Gasto de motores por hora	1,6	
Desgaste anual	12.264	
<b>Mantenimiento OPS</b>		
Porcentaje de la inversión %		2
		26.000,00
<b>Bonificación en gastos estadía a buques</b>		
		549.506
<b>Suma operacional</b>	<b>389.407</b>	<b>375.776</b>

	Fuel	OPS
<b>Polución emisiones a la atmósfera</b>		
Estimación cantidades	Fuel (tons)	OPS (tons)
CO2	1873,764	1.839,17
SOx	1,25	2,34
NOx	32,04	4,59
PM	0,14	0,14
Estimación del coste externo	Fuel (Euros)	OPS (Euros)
CO2	9.368,82	9.195,84
SOx	6.995,39	13.078,33
NOx	140.993,95	20.193,20
PM	3.530,28	3.530,28
<b>Suma cont atm</b>	<b>160.888,44</b>	<b>45.997,65</b>
<b>Contaminación sonora</b>		
Población afectada	-	personas
Reducción de ruido en db(A)	1	dB-A
<b>Suma cont sonora</b>	<b>-</b>	<b>0</b>

## E. Resultados

### Hipótesis y resultados de la simulación

RESULTADOS	Fuel	OPS
		Euros
Inversión total (muelle y buques)		1.720.000,00
	Euros	Euros
Coste	550.294,97	421.774,12
Operacional	389.406,53	375.776,47
Emisiones	160.888,44	45.997,65
Ruido	-	-
	Tons	kWh
Consumo OPS	589	2.715.600
Reducción contaminación		Tons
CO2		34,60
SOx	-	1,09
NOx		27,45
PM		-

## 8. Petición de información sobre proyectos

- [OPS Master Plan for Spanish Ports \(poweratberth.eu\)](http://poweratberth.eu)

Buenas tardes,

Soy un alumno de la facultad de Náutica de la Universidad de La Laguna. Estoy realizando un TFG acerca del cold ironing y me gustaría saber más acerca del proyecto OPS Master Plan.

Algunos puertos canarios están comenzando a utilizar este método. Yo querría profundizar en alguno de estos puertos y conocer la distribución de la infraestructura, la cantidad de puntos de suministro, los voltajes, frecuencias y potencias de la energía, etc.

Sería de gran ayuda,  
Un saludo y gracias de antemano!

- [Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife](#)

Buenas tardes,

Soy un alumno de la facultad de Náutica de la Universidad de La Laguna. Estoy realizando un TFG acerca del cold ironing y me gustaría saber más acerca del proyecto OPS Master Plan.

Algunos puertos de canarias como el de Santa Cruz, La Gomera, La Palma y Las Palmas están comenzando a utilizar este método. Yo querría profundizar sobre el Cold Ironing en estos puertos y conoces algunos aspectos como la distribución de la infraestructura, la cantidad de puntos de suministro en el atraque, los métodos de conexión, los voltajes, frecuencias y potencias de la energía, etc.

Sería de gran ayuda,  
Un saludo y gracias de antemano!