



UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO.

“COLD IRONING”

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA.

SECCIÓN DE PUENTE, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL.

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS.

AUTORES: CRISTIAN GUTIERREZ MELIAN.

SAÚL RODRÍGUEZ ARIAS.

SEPTIEMBRE 2019

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO.

“COLD IRONING”

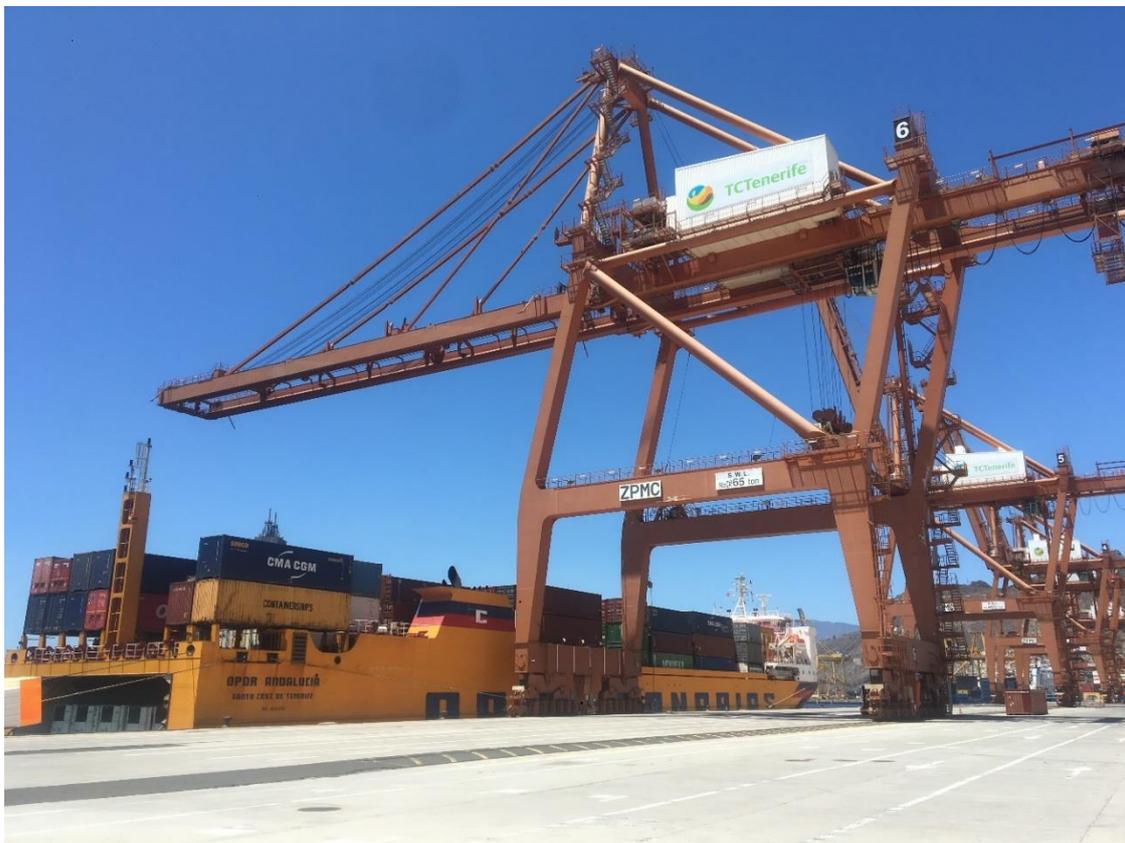


Ilustración 1: Buque OPDR Andalucía en terminal de Santa Cruz. Fuente: Trabajo de campo

DIRECTORES: D.Servando Luis León

Dr. D. Federico Padrón Martín

AUTORES: Cristian Gutiérrez Melian

Saul Rodríguez Arias

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Don Servando Luis León, profesor asociado del área de ingeniería de los procesos de fabricación perteneciente a la unidad departamental de ingeniería marítima de la universidad de la laguna hago constar:

Don Saul Rodríguez Arias y Don Cristian Gutierrez Melian han realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título

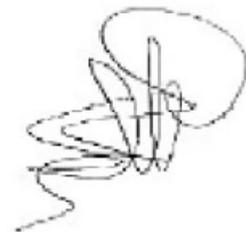
Suministro eléctrico para buques amarrados a puerto. “cold ironing”

Revisado dicho trabajo, estimo que 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 31 de julio de 2019

Fdo. Servando R. Luis León
Director del trabajo de fin de grado



SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Dr. Don Federico Padrón Martín, profesor contratado doctor tipo I, del área de ingeniería de los procesos de fabricación perteneciente a la unidad departamental de ingeniería marítima de la universidad de la laguna hago constar:

Don Saul Rodriguez Arias y Don Cristian Gutierrez Melian han realizado el trabajo de fin de grado bajo mi dirección con el título

Suministro eléctrico para buques amarrados a puerto. “cold ironing”

Revisado dicho trabajo, estimo que 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 31 de julio de 2019

Fdo. Federico Padrón Martín
Codirector del trabajo de fin de grado



SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, tener en consideración a Don Servando Luis León y al doctor Don Federico Padrón Martín por ser nuestros directores en nuestro trabajo del tfg, por todos los conocimientos que nos han aportado a lo largo de nuestros estudios, ayuda y orientación profesional. También dar las gracias al resto de profesores que de todos hemos aprendido algo.

Agradecer también a nuestras familias ya que sin su apoyo, consejos y confianza esto no hubiera sido posible.

Queremos dar las gracias también a nuestros amigos y al grupito clave por estar ahí cuando nos hemos necesitado.

Muchas gracias.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

ÍNDICE:

AGRADECIMIENTOS:	9
ÍNDICE:	11
Índice de ilustraciones:	15
Índice de tablas:	19
I.INTRODUCCIÓN:	23
ABSTRACT:	24
II. OBJETIVOS:	27
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES:	31
¿QUE ES?	31
TIPOS DE BUQUES:	33
CONTAMINACIÓN Y NORMATIVA APLICADA.	35
NORMAS QUE AFECTAN A LA IMPLANTACIÓN	41
DEL COLD IRONING:	41
Directiva 2014/94/UE:	41
Directiva 2012/33/CE	44
Análisis de la normativa referente a cold ironing:	45
Tipología:	46
Requisitos principales de la instalación:	48
Calidad de la electricidad	48
Requisitos generales	49
Equipos conversores	50
Aislamiento galvánico	51

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Unión equipotencial	52
Seccionadores y enclavamientos de seguridad	52
Equipamiento de interfaz	53
Enchufes y clavijas	53
Cable	55
Manejo del cable	56
Procedimiento de conexión:	57
Procedimiento de desconexión:	60
Infraestructuras portuarias	61
Puerto de Göteborg (Suecia)	61
Puerto de Estocolmo (Suecia)	64
Puerto de Helsingborg	65
Puerto de Kemi	65
Puerto de Melilla	65
Empresas en el mercado	68
ABB	68
Siemens	69
Cavotec	70
Sam electronics	71
Terasaki	72
Patton & Cooke	72
Callenberg engineering Inc	72
IV. METODOLOGIA:	75
Documentación bibliográfica	75

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Metodología del trabajo de campo	75
Marco referencial	75
V.RESULTADOS:	79
Introducción	79
Rentabilidad según tipo de buque y tiempo de estancia en puerto	81
Rutas y tiempos en puerto	82
Consumo estimado	84
Situación actual	84
Conexión buque-tierra	85
Control de generadores	87
Posibilidades	89
Conexión por babor	91
Instalación a 440V en corriente alterna	92
Instalación elegida	93
Elementos necesarios	94
Elementos a añadir en el buque	95
Autómata y cuadro eléctrico	95
Cableado	96
Transformador	96
Interfaz por duplicado en cubierta (Babor y estribor):	96
Cuadro eléctrico de maniobra	96
Terminal de conexión a puerto	96
Cable para conexión a puerto	97
Carrete de cable	97

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

Desventajas del cold ironing:	98
Ventajas del cold ironing:	98
VI.CONCLUSIONES:	101
VII.BIBLIOGRAFÍA:	105

Índice de ilustraciones:

Ilustración 1: Buque OPDR Andalucía en terminal de Santa Cruz. Fuente: Trabajo de campo.....	3
Ilustración 2: Cold ironing en el puerto de Los Ángeles. Fuente: (2).....	31
Ilustración 3: Buque OPDR Andalucía tipo Con-ro. Fuente: (5)	33
Ilustración 4: Buque portacontenedores. Fuente: (7)	35
Ilustración 5: Columnas de humo procedentes de buque	36
Ilustración 6: Buque expulsando una humareda negra. Fuente: (12).....	37
Ilustración 7: MARPOL anexo 4. Fuente: (18).....	44
Ilustración 8: Logo GDPR unión europea. Fuente: (25)	45
Ilustración 9: Ejemplo de proyecto OPS a 6,6 kV en el puerto de Oakland.....	46
Ilustración 10: Ejemplo de conexión OPS. Fuente: (23).....	47
Ilustración 11: Diagrama de conexión buque-puerto según ISO/IEC/IEEE. Fuente: (19).....	48
Ilustración 12: Conectores según ISO 80005-1. Fuente: (19)	54
Ilustración 13: Disposición de conectores según ABS. Fuente: (19).....	55
Ilustración 14: Dimensiones de conectores según ABS. Fuente: (19).....	55
Ilustración 15: Conector cold ironing militar de baja tensión. Fuente: (1)	57
Ilustración 16: Disyuntor eléctrico de alta tensión. Fuente: (21).....	59
Ilustración 17: Carrete de dos cables Cavotec hasta 8 MVA. Fuente: (24)	60
Ilustración 18: Buque Stena Scandinavica Fuente: (24).....	61
Ilustración 19: Entrada de cables. Fuente: (24).....	61
Ilustración 20: Puerto de Goteborg: Fuente: (25)	62
Ilustración 21: Interior del contenedor. Fuente: (24).....	63
Ilustración 22: Casetas de conexión. Fuente: (24)	63

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Ilustración 23: Maniobra con el cable. Fuente: (24).....	63
Ilustración 24:Plataforma portacables.	64
Ilustración 25: Cables dispuestos junto al buque.	64
Ilustración 26: Conector de 400 V. Fuente: (24).....	65
Ilustración 27: Cables de 400 V. Fuente: (24)	65
Ilustración 28: Caja de conexión para buque en Melilla. Fuente: (15).....	66
Ilustración 29: Muelle del Espigón en Melilla. Fuente: (15)	67
Ilustración 30:Grúa portacables ABB. Fuente: (24)	68
Ilustración 31: Esquema del sistema SIHARBOR. Fuente: (8).....	69
Ilustración 32: Esquema del sistema SIPLINK. Fuente: (8).....	70
Ilustración 33: Carrete de 1 cable para 4 MVA. Fuente: (24)	70
Ilustración 34:Carrete de 2 cables hasta 8 MVA. Fuente: (24)	70
Ilustración 35: Representación de conector estándar Cavotec. Fuente: (24).....	71
Ilustración 36:Contenedor con el equipamiento normal de puerto a bordo de un buque. Fuente: (24).....	71
Ilustración 37: Situación del contenedor a bordo del buque. Fuente: (24)	71
Ilustración 38: Entrada a la caseta del generador de emergencia. Fuente: Trabajo de campo.....	85
Ilustración 39: Costado del buque visto desde puerto. Fuente: Trabajo de campo	85
Ilustración 40: Armario de conexión a tierra en la actualidad. Fuente: Trabajo de campo	86
Ilustración 41: Generador de emergencia e interior de la caseta. Fuente: Trabajo de campo	86
Ilustración 42: Espacio en el lado de babor. Fuente: Trabajo de campo.....	86

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Ilustración 43: Diagrama de funcionamiento de autómatas. Fuente: Elaboración propia	87
Ilustración 44: Vista del armario del generador 2. Fuente: Trabajo de campo	88
Ilustración 45: Armario del generador 1 y autómata maestro.....	88
Ilustración 46: Vista de los 4 armarios de generadores.....	89
Ilustración 47: Conexión OPS 440 V. Fuente: (26).....	90
Ilustración 48: Techo de la bodega y bandeja.....	91
Ilustración 49: Bodega de buque OPDR Andalucía.....	91
Ilustración 50: Ubicación de conexión lado babor.....	92
Ilustración 51: Ubicación de conexión lado babor.....	92
Ilustración 52: Vista trasera Deif PPU-3. Fuente: (27).....	95
Ilustración 53: Vista frontal Deif PPU-3. Fuente: (27).....	95
Ilustración 54: Carrete y soporte AMP Reel. Fuente: (28).....	97

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Índice de tablas:

Tabla 1: Factores de emisión de motores auxiliares y generadores terrestres. Fuente: (14).....	38
Tabla 2: Tiempos de estancia en puerto OPDR. Fuente: Trabajo de campo	83

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

I.INTRODUCCIÓN

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

I.INTRODUCCIÓN:

La creación de este proyecto surge debido al creciente tráfico marítimo internacional y a la contaminación producida por los buques, sobre todo en los puertos y en las ciudades que los rodean. Por ello las normativas respecto a la contaminación son cada vez más estrictas, como por ejemplo que en 2020 los buques no podrán superar sus emisiones de azufre en un 0,5% fuera de zonas ECA y un 0,1% dentro de dichas zonas.

Entre las distintas posibilidades que encuentra un buque para poder cumplir estas normativas se encuentra el Cold Ironing, el cual consiste en la conexión eléctrica del buque a tierra con el fin de poder parar los generadores auxiliares en puerto y mantener el suministro eléctrico del buque a través de una conexión al muelle, de esta forma se reduce el ruido ,la contaminación y el mantenimiento durante la estancia en puerto ya que los motores se mantienen parados, aunque dependiendo de cómo sea producida esta energía por parte de las compañías eléctricas será más o menos contaminante, aunque siempre se conseguirá alejar la contaminación de los puertos y por tanto de las ciudades que los rodean.

Para poder aprovechar esta ventaja tanto el puerto como el buque deben estar debidamente equipados. El puerto debe proporcionar un suministro eléctrico estable a la tensión y frecuencia requeridas. El buque debe contar con los equipamientos adecuados para el acople y desacople a la red del puerto, además de poder hacerlo en un corto espacio de tiempo con el fin de facilitar su maniobrabilidad en caso de emergencia.

Para los buques de nueva construcción no hay problema ya que se pueden implementar estos equipamientos durante su construcción. El problema surge en los buques que ya navegan, según el tipo de buque y la ruta que haga puede ser rentable o no. Por ejemplo, para buques con una corta estancia en puerto lo más probable es que no sea rentable, mientras que para cruceros o buques que pasan más tiempo en puerto sí que puede serlo.

ABSTRACT:

The creation of this Project arises due to the growing international maritime traffic pollution produced by ships, especially in ports and the cities that surround them. Therefore, the regulations regarding pollution are increasingly stringent, such as that in 2020 vessels Will not be able to exceed their sulphur emissions by 0,5% outside ECA zones and 0,1% within said zones.

The different possibilities is that a ship is found to be able to comply with these regulations. Cold ironing is the electrical connection between the ship and the port in order to stop the auxiliary generators in port to maintain the ship´s electrical supply through of a connection to the dock, in this way the noise is reduced, contamination and maintenance during the stay in port since the generators are stopped, although it Will always be possible to get rid of the contamination of the cities that surround them.

In order to take advantage of this, both the port and the ship must be properly equipped. The port must provide a stable electrical supply with their voltage and frequency required. The vessel must have adequate equipment for coupling and uncoupling the port network, as well as being able to do so in a short space of time in order to facilitate its emergency maneuvering.

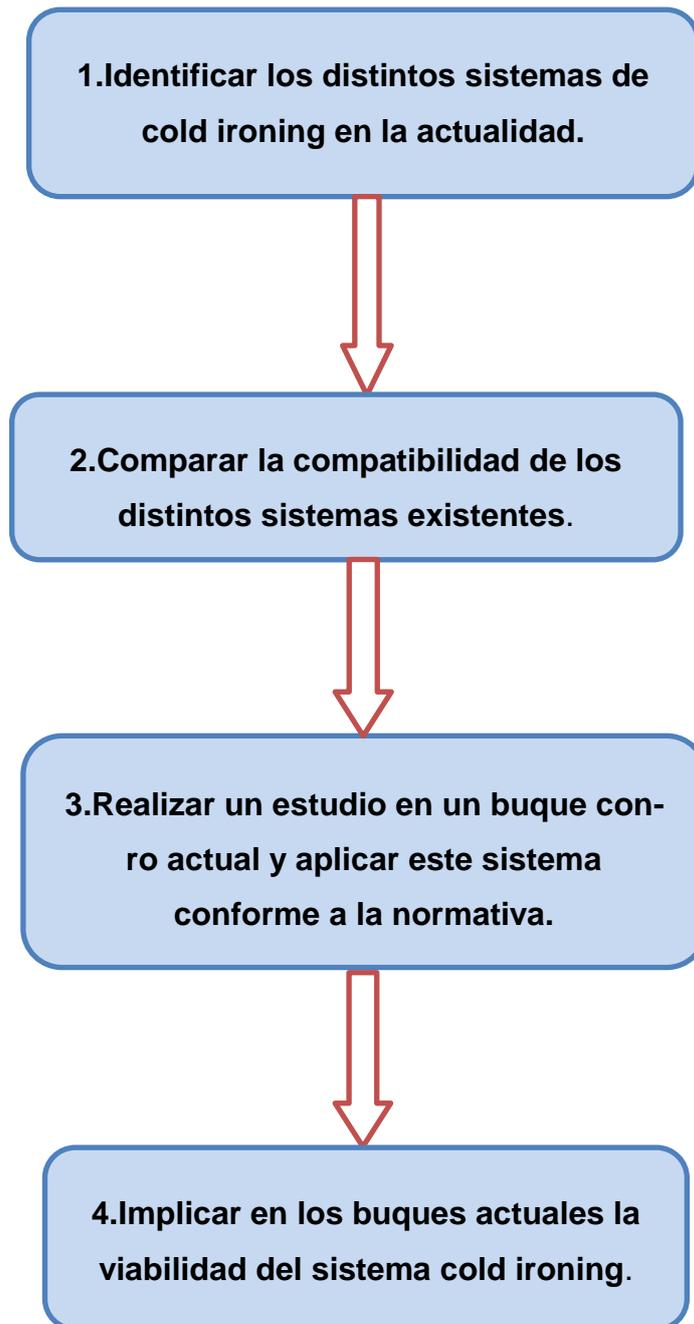
For newly built vessels there is no problem as these equipment´s can be implemented during their construction. The problem arises in the ships that already sail, depending on the type of ship and the route that it makes can be profitable or not. For example, for ships that takes short time in port it will not be profitable, while for cruise ships or ships that pass more time in port can be profitable.

II.OBJETIVOS

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

II. OBJETIVOS:

En este trabajo de fin de grado vamos a desarrollar los siguientes objetivos que plasmamos a continuación.



SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES:

¿QUE ES?

El Cold Ironing es una técnica que consiste en la conexión eléctrica entre un buque y el puerto, también recibe el nombre de OPS (On-Shore Power Supply), AMPS (Alternative Maritime Power), SSE (Shore Side Electricity) y HVSC (High Voltage Shore Connection). (1)

Esta técnica surge para solventar los problemas de contaminación, ruido y vibraciones durante la permanencia de los buques en puerto, ya que, al recibir electricidad desde el puerto, no necesita mantener sus propios motores arrancados para generarla y por tanto no produce los inconvenientes nombrados anteriormente que afectarían a las ciudades cercanas a los puertos (1)



Ilustración 2: Cold ironing en el puerto de Los Ángeles. Fuente: (2)

Una de las dificultades a las que se enfrenta el Cold Ironing es la inexistencia de la infraestructura necesaria para abastecer grandes buques en puerto, ya que pueden llegar a requerir 10 MW en el caso de un crucero de 200 metros de eslora. Otro problema es la adaptación de los buques que ya navegan para poder implantar este

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

sistema, ya que dependiendo del tipo de buque puede requerir una gran inversión y puede o no ser rentable para la naviera. Además, el precio por el consumo eléctrico puede ser mayor que el gasto en combustible. (3)

Para acabar con estos problemas la Comisión Europea ha publicado varias directivas en estos últimos años con el fin de fomentar el suministro eléctrico para reducir las emisiones, con el año 2025 como fecha de entrada en vigor. Para 2030 el objetivo europeo de reducción de CO₂ es de un 40% con respecto a 1990, algo a lo que contribuiría la reducción de emisiones en puerto. (4)

TIPOS DE BUQUES:



Ilustración 3: Buque OPDR Andalucía tipo Con-ro. Fuente: (5)

- Cruceros: son grandes buques dedicados al turismo, con elevado número de pasajeros, consumos y gran contaminación.
- Ro-pax: estos buques transportan carga rodada y pasajeros
- Roll On-Roll Off: estos buques transportan carga rodada, normalmente en travesías largas. Se descargan por unidades.
- Con-ro: estos buques transportan carga rodada además de contenedores
- Portacontenedores: se estipula gran parte del comercio marítimo se realiza con esta clase de buque, suelen ser de gran tamaño y la maniobra de carga y descarga se realiza por medio de grúas pórtico.
- Frigoríficos: son buques que lleva mercancías que requieren de un tratamiento térmico, para poder conservarse en buen estado
- Carga general: buques que contienen cargas básicas sin contenedores, que llevan su propia maquinaria de descarga (grúas).

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

- Petroleros: Debido a su elevado tamaño deben atracar en alta mar, transportan crudos y se descargan mediante conexiones a tierra o a otros buques.
- Quimiqueros: Llevan distintos productos químicos en distintos buques separados, para no mezclar las sustancias.
- Gases licuados: son característicos por sus grandes tanques esféricos donde almacenan el gas licuado se descargan por conexiones a tierra.
- Ganado: transporta animales y tiene una zona con comida para los mismos
- Graneleros: buques que transportan cargas libres como por ejemplo: minerales, arroz, cementos. El coste del transporte se basa en el peso toneladas del producto y que normalmente para que sea rentable ira carga completa. La maquinaria que se utiliza para descargar son grúas a las que se acopla una pala cóncava capaz de abrirse y cerrarse. (6)

Habiendo diferenciado ya los diferentes tipos de buque.

Otro factor importante es si el buque es de nueva construcción o ya está construido. Ello se debe a la facilidad en la implantación de este o cualquier otro sistema en el momento de diseñar y fabricar el buque desde cero, en comparación con la adaptación de un buque ya existente, en el que sería más complicado y caro introducirlo.



Ilustración 4: Buque portacontenedores. Fuente: (7)

CONTAMINACIÓN Y NORMATIVA APLICADA.

El transporte marítimo representa el 90% del transporte de mercancías mundial emitiendo gran cantidad de CO₂, además el combustible utilizado en los buques normalmente suele ser combustibles pesados, que son más contaminante por sus altos porcentajes en azufre y por tener partículas mayores en su combustión.

Todas las ciudades con grandes puertos en el mundo se ven afectadas por el tránsito de los buques, pero más importante a tener en cuenta aquellos que pasan más de un día atracados. (8)

La calidad del aire que nos rodea viene definida principalmente por, en qué lugar y a que distancia se producen las fuentes contaminantes y en qué cantidades.



Ilustración 5: Columnas de humo procedentes de buque y central térmica en el puerto de Menorca. Fuente: (9)

Los tipos de contaminantes antropogénicos (Procedentes de los seres humanos y con efectos en la naturaleza) son los que más afectan a la población en general, debido al consumo de combustibles pesados de los motores auxiliares mientras están atracados en puerto son los siguientes:

- Los óxidos de carbono: fundamentalmente a destacar son el monóxido de carbono (CO) como debido a combustiones incompletas mientras que el (CO_2) procede de combustiones completas y es el que más influye en el efecto invernadero. **(10)**
- Los compuestos de nitrógeno: son los compuestos de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Cuando hablamos de los NO_x nos referimos a una mezcla de ambos compuestos. Estos se producen en los motores como consecuencia de la combustión de los hidrocarburos a altas temperaturas. **(11)**



Ilustración 6: Buque expulsando una humareda negra. Fuente: (12)

- Los compuestos de azufre: son óxidos de azufre que se encuentran en estado gaseoso, están formados por trióxido de azufre (SO_3) y dióxido de azufre (SO_2) siendo este el más común y el que se encuentra en mayor porcentaje. Cuando nos referimos a los NO_x quiere decir que es una mezcla de ambos, estos compuestos se forman debido a que, en las combustiones, el oxígeno reacciona con el azufre. Será en mayor o menor proporción en función del porcentaje que tenga el hidrocarburo de azufre en su composición. **(13)**
- Las partículas líquidas o sólidas en suspensión PM: son el polvo, el hollín, las cenizas, partículas de metal... diseminadas en la atmósfera cuyo tamaño oscila entre 10 y 2,5 micras y son producidas por combustiones incompletas. **(14)**
- La contaminación acústica también debe valorarse y tener en cuenta, ya que las normativas empiezan a tener en cuenta este problema debido a que afecta tanto a los trabajadores como a las personas residentes en los puertos.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Cuando los buques se encuentran amarrados a muelle, utiliza los motores auxiliares si se requiere de electricidad, para poder dar un determinado servicio, que puede ser de cualquier tipo, para pasaje de crucero, como si fuera un “hotel” o para la carga y descarga de mercancías. Estos servicios producen una gran cantidad de emisiones con todos los contaminantes ya nombrados a la atmosfera, en un entorno donde hay mucha población, como son los puertos principales de las ciudades.

Una de las mejores disposiciones es suministrar la energía directamente desde la red eléctrica de tierra, distribuida a puerto, dicha medida la recomienda la comisión europea a los distintos estados miembro para no generar las emisiones, en donde hay gran densidad de población y dentro de las posibilidades que la producción de dicha energía provenga de energías más limpias como GNL y renovables.

Si comparamos la contaminación producida por los motores auxiliares de los buques y los derivados de la generación de electricidad en tierra se podrían estimar las siguientes reducciones suponiendo que se utilizara la energía eléctrica desde puerto, el cálculo partiría del consumo de Kw por hora tal y como se muestra en la siguiente tabla:

	NO _x (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)	CO (g/kWh)	COV (g/kWh)	PM (g/kWh)
Factores de emisión para motores auxiliares en puerto	11,8	0,46	690	0,9	0,4	0,3
Factores de emisión para la producción de energía eléctrica en España	0,477	0,421	245,992	0,08	0,022	0,019
Diferencia entre factores de emisión	11,32	0,039	444,008	0,819	0,377	0,281
Porcentaje de reducción	96%	8,50%	64%	91%	94%	94%

Fuente de factores de emisión para motores auxiliares en puerto: Datos publicados por Entec UK Limited en el informe de la Comisión Europea, de agosto de 2005, "Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-base Instruments", considerando que los motores auxiliares son diésel de velocidad media/alta y utilizan combustible destilado marino con un contenido en azufre inferior al 0,1% en masa.

Fuente de factores de emisión para la generación de la electricidad en España: Estimado a partir de las emisiones publicadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera 2010, para la combustión en la producción y transformación de energía, y la producción de energía eléctrica nacional en 2010 publicada por Red Eléctrica de España.

Tabla 1: Factores de emisión de motores auxiliares y generadores terrestres. Fuente: (14)

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Estas son algunas de las ventajas que aporta esta tecnología.

- Reducción de ruidos y vibraciones.

Al operar con cold ironing evitamos el ruido y vibraciones, gracias a que los generadores auxiliares estarían apagados, en caso contrario lo normal de ruido en lugares cercanos, producido por estos motores ronda entre 90-120 dB, no solo afectando a la población sino a los mismos operarios.

- Beneficios económicos

Se ahorran en el mantenimiento de los motores auxiliares alargando su vida útil, además se facilitaría el mantenimiento mientras está funcionando el cold ironing.

Supondrá un menor coste para la naviera en la producción de electricidad, ya que en términos generales es más cara la producción eléctrica con diésel para uso marino, que la producción de electricidad en tierra.

- Apoyos institucionales

La propuesta de comisión europea respaldada por la OMI recomienda aumentar la calidad del aire en zonas portuarias utilizando el suministro eléctrico desde tierra mientras sea eficiente.

La comisión europea para fomentar la medida propuesta propone reducir los impuestos aplicados a la electricidad suministrada desde puerto a los buques, iniciativa ya aprobada en Suecia y Alemania, que poco a poco se integrara en el resto de Europa.

La finalidad será incentivar de forma económica al que use esta conexión de manera que se reduzca la polución en las ciudades próximas a los puertos. (15)

La unión europea ha dado una recomendación para la alimentación eléctrica desde tierra a los buques que son las siguientes:

“Recomendación 2066/339/EG”

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

La recomendación se propuso como estrategia de UE para reducir las emisiones durante el atraque en noviembre de 2002, la recomendación se materializó en el documento 2006/339/CE en las que se presentan las siguientes medidas:

- La comisión dice que los estados miembros, deben considerar la instalación de equipos eléctricos para la conexión de los buques atracados y deberán ofrecer incentivos económicos para quien los use.
- Los estados miembros colaboraran en la organización marítima internacional (OMI), en el convenio para prevenir la contaminación por buques (convenio MARPOL), y por promover el progreso de conexiones eléctricas en puerto.
- Se informará cada periodo de tiempo de estudios acerca de la rentabilidad y viabilidad, de este sistema en los distintos buques, puertos y rutas. (8)

Para los buques y muelles, más importantes que se debe implantar este sistema son cruceros, buques portacontenedores, y buques ro/ro, ro-pax y con-ro.

Esta tecnología no solo cumple con estas normas estrictas de regulación de emisiones, sino que mejora la calidad del aire en zonas portuarias y además beneficia al armador, porque el coste de la energía suministrada durante el amarre a puerto es menor que si se generase con los motores auxiliares. (15)

NORMAS QUE AFECTAN A LA IMPLANTACIÓN DEL COLD IRONING:

Directiva 2014/94/UE:

Implementación de una infraestructura para los combustibles alternativos, se refiere específicamente al suministro de energía eléctrica a buques en puerto. (16)

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA:

- “En su Comunicación de 3 de marzo de 2010 titulada «Europa 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador», la Comisión se fijó el objetivo de reforzar la competitividad y la seguridad energética mediante una utilización más eficiente de los recursos y de la energía”. (16)
- “En las orientaciones de la Red Transeuropea de Transporte (RTE-T) se reconoce que los combustibles alternativos sirven, al menos parcialmente, de sustituto de los combustibles fósiles en el suministro de energía para el transporte, contribuyen a su descarbonización y mejoran el rendimiento medioambiental del sector del transporte”. (16)
- “Las instalaciones de suministro de electricidad en puerto permiten al transporte marítimo y fluvial abastecerse de energía limpia, en particular en los puertos marítimos y fluviales en los que la calidad del aire sea baja o con un nivel de contaminación acústica elevado. La electricidad en puerto puede contribuir a reducir el impacto ambiental de los buques de navegación marítima y de los barcos de navegación interior”. (16)
- “La normalización del suministro de electricidad en puerto no debe impedir el uso de los sistemas implantados antes de la entrada en vigor de la presente Directiva. En particular, los Estados miembros deben posibilitar el mantenimiento y la mejora de los sistemas existentes, a fin de asegurar su utilización eficiente a lo largo de su ciclo de vida, sin exigir un cumplimiento pleno de las especificaciones técnicas previstas en la presente Directiva”. (16)

Marcos de acción nacional

- “La Comisión, basándose en los marcos de acción nacionales, publicará y actualizará con regularidad la información relativa a las metas cuantitativas nacionales y a los objetivos presentados por cada Estado miembro en lo referente a”:
 - infraestructura para el suministro de electricidad en puerto en los puertos marítimos e interiores. (16)

Artículo 4 Suministro de electricidad para el transporte

- “Los Estados miembros garantizarán que la necesidad de suministro eléctrico en puerto para las embarcaciones de navegación interior y los buques marítimos en puertos marítimos e interiores sea evaluada en sus respectivos marcos de acción nacionales. Dicho suministro eléctrico en puerto se instalará prioritariamente en puertos de la red básica de la RTE-T y en otros puertos a más tardar para el 31 de diciembre de 2025, salvo que no existiera demanda y los costes fueran desproporcionados en relación con los beneficios, incluidos los beneficios ambientales”. (16)
- Los Estados miembros garantizarán que las instalaciones de suministro de electricidad en puerto para el transporte marítimo implantadas o renovadas a partir del 18 de noviembre de 2017 cumplen las especificaciones técnicas establecidas en:
 - **El anexo II, punto 1.7:** Especificaciones técnicas de los puntos de recarga. Suministro de electricidad en puerto a los buques de navegación marítima El suministro de electricidad en puerto a los buques de navegación marítima,

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

incluidos el diseño, la instalación y la comprobación de los sistemas, será conforme con las especificaciones técnicas de la norma IEC/ISO/IEEE 80005-1. (16)

- **IEC / ISO / IEEE 80005-1: 2019(E)** describe los sistemas de conexión en tierra de alto voltaje (HVSC), a bordo del barco y en la costa, para suministrar energía eléctrica desde la costa. Esta norma es aplicable al diseño, instalación y prueba de sistemas HVSC y aborda:
 - Sistemas de distribución en tierra HV.
 - Equipo de conexión y de interfaz entre la costa y el barco.
 - Transformadores / reactores.
 - Semiconductores / convertidores rotativos.
 - Sistemas de distribución de buques.
 - Sistemas de control, monitoreo, enclavamiento y administración de energía.
- "Otras normas internacionales invitan a considerar estos sistemas OPS (véase Convenio MARPOL 73/78, Anexo VI, directiva 2012/33/CE, o directiva 2008/50/CE. A nivel estatal, se ha aprobado una bonificación del 50% en la tasa portuaria T-1 a los buques que durante el atraque utilicen electricidad suministrada desde muelle". (16)

"En el Anexo VI se establecen los límites de las emisiones de óxidos de azufre y de óxidos de nitrógeno de los escapes de los buques y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agotan el ozono; para las zonas de control de emisiones designadas se establecen normas más estrictas en relación con la emisión de SO_x, NO_x y de materias particuladas". (16)

Directiva 2012/33/CE

“Se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo”. (17)

CONSIDERACIONES:

- “La contaminación del aire causada por los buques atracados en puerto es una grave causa de preocupación para muchas ciudades portuarias, en lo que respecta a sus esfuerzos por respetar los límites de calidad del aire establecidos por la Unión”. (17)
- “Los buques de pasajeros operan principalmente en los puertos o cerca de las zonas costeras y su impacto sanitario y ambiental es significativo. Con objeto de mejorar la calidad del aire en torno a los puertos y las costas, esos buques están obligados a utilizar combustibles para uso marítimo con un contenido máximo de azufre del 1,5 % hasta que se apliquen normas para el azufre más estrictas a todos los buques en las aguas territoriales, las zonas económicas exclusivas y las zonas de control de la contaminación de los Estados miembros”. (17)

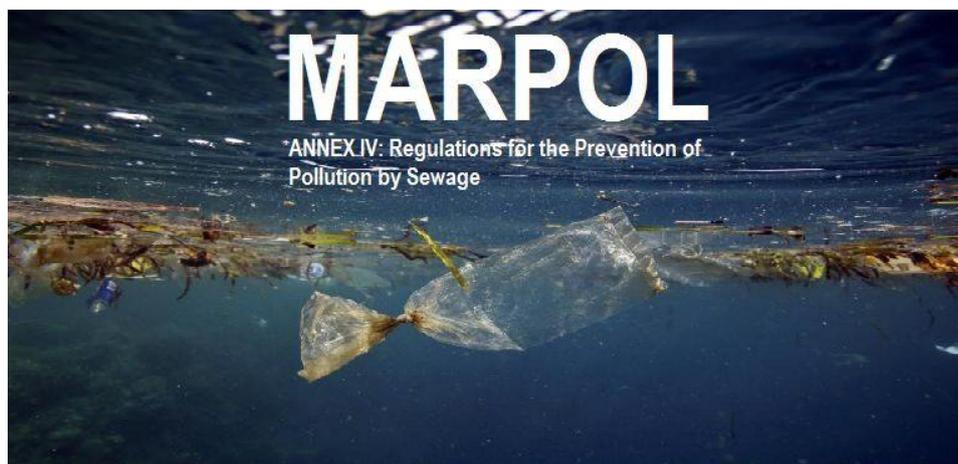


Ilustración 7: MARPOL anexo 4. Fuente: (18)

Análisis de la normativa referente a cold ironing:

Antes de trabajar en el diseño de una instalación de este tipo es necesario estudiar la normativa referente al tema. Encontramos una serie de normativas específicas de distintas instituciones:

ISO/IEC/IEEE 80005-1: Conexiones de alto voltaje a puerto (HVSC) Sistemas y requerimientos generales.

ABS: Conexiones de alto voltaje.

DNV: Conexiones eléctricas en puerto.

Además, otras normas marítimas más amplias incluyen apartados referentes a la conexión buque-puerto:

BV: Reglas de clase para buques de acero.

LR: Reglas y regulaciones para la clase de buques.

RINA: Reglas de clase de buques. (19)



Ilustración 8: Logo GDPR unión europea. Fuente: (25)

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Tipología:

Como consecuencia de los diferentes tipos de suministros eléctricos que se encuentran tanto en las ciudades como en los buques es necesario diferenciarlos, ya que para que se pueda realizar la conexión el puerto debe proporcionar el voltaje y la frecuencia requeridos por el buque:

Actualmente los voltajes utilizados por los buques son:

- 11000 voltios en CA (Corriente alterna)
- 6600 voltios en CA
- 660 voltios en CA
- 440 voltios en CA

La frecuencia puede ser 50 Hz o 60 Hz dependiendo del buque y el país donde se conecte. (20)

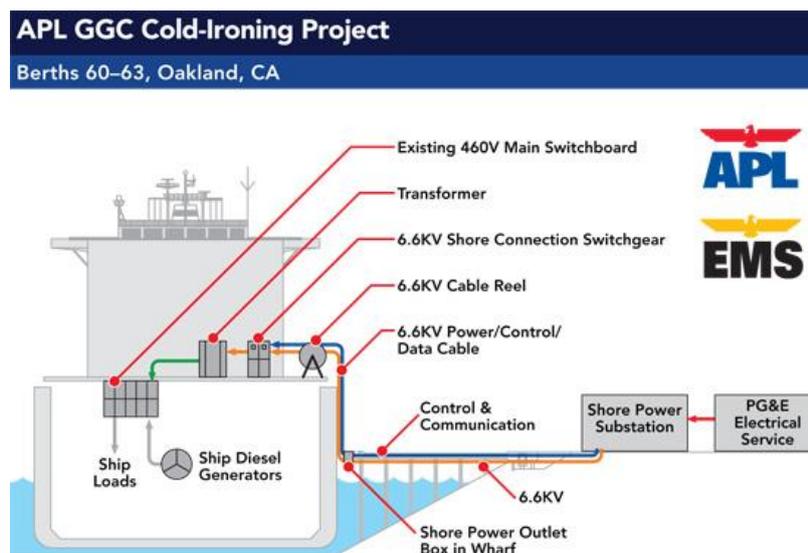


Ilustración 9: Ejemplo de proyecto OPS a 6,6 kV en el puerto de Oakland.

Fuente: (21)

Para que el puerto pueda suministrar la frecuencia y voltaje adecuado a los distintos buques es necesaria la siguiente infraestructura:

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

- Conexión a la red eléctrica de entre 20 y 100 kV en una subestación para transformarla a entre 6 y 20 kV.
- Cable de 6-20 kV entre la subestación transformadora y la terminal portuaria.
- Conversor de frecuencia (Opcional): Debido a la existencia de buques a 50 y a 60 Hz es conveniente implementarla en algunos casos para que se puedan aprovechar la mayor cantidad de buques posibles, excepto, por ejemplo, si la conexión es para una línea regular y el buque a conectar siempre va a ser el mismo.
- Bobina de cable y soporte que permita la maniobra de la conexión, desplazándose tanto en altura como longitudinalmente, además de evitar que el cable cuelgue. Puede estar situado tanto en el buque como en puerto.
- Conector a bordo del buque.
- Transformador a bordo para transformar el alto voltaje al requerido (22)

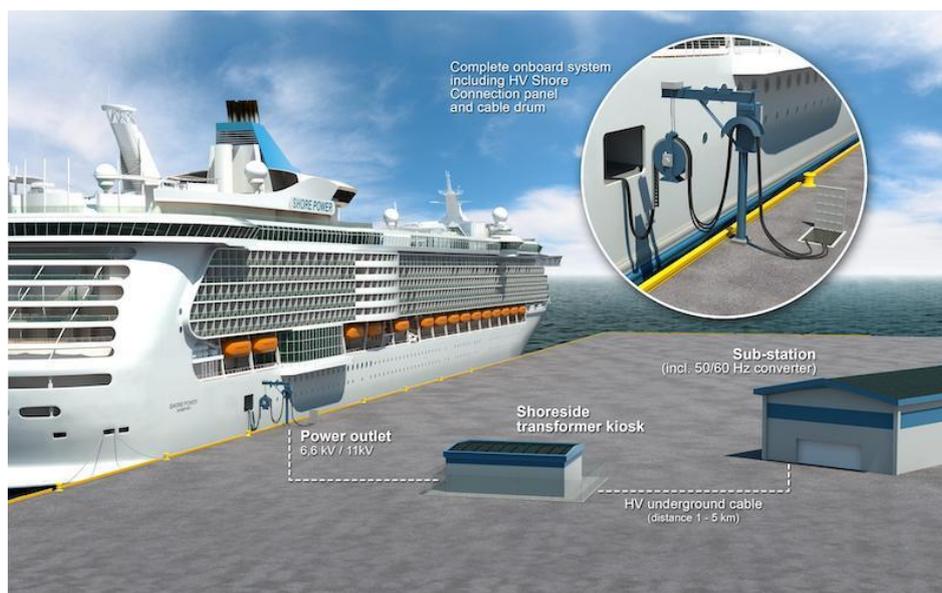
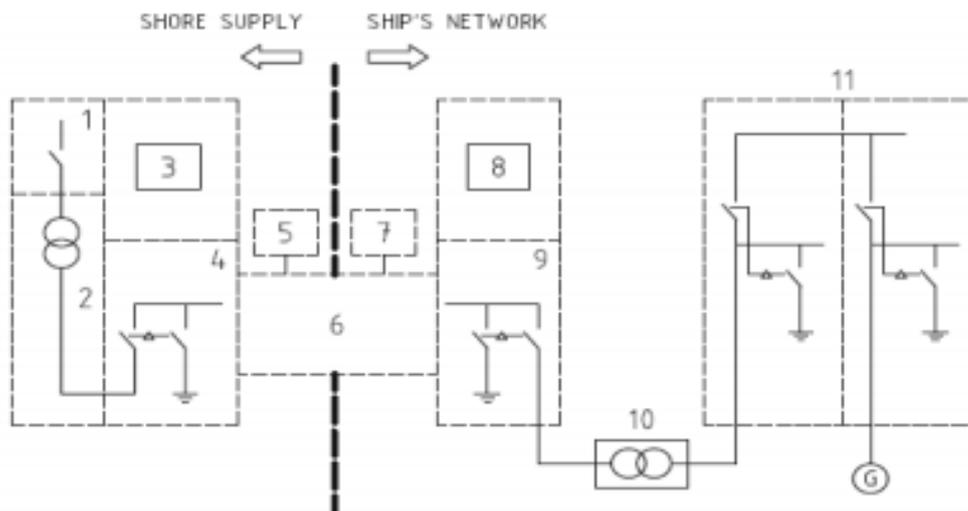


Ilustración 10: Ejemplo de conexión OPS. Fuente: (23)

Requisitos principales de la instalación:

De acuerdo con el standard internacional IEC/ISO/IEEE 80005-1 el diseño de la instalación debe basarse en este diagrama genérico:



KEY

- | | |
|---|---|
| 1. HV-SHORE SUPPLY SYSTEM | 7. CONTROL |
| 2. SHORE SIDE TRANSFORMER | 8. SHIP PROTECTION RELAYING |
| 3. SHORE SIDE PROTECTION RELAYING | 9. SHORE CONNECTION SWITCHBOARD |
| 4. SHORE SIDE CIRCUIT BREAKER AND EARTH SWITCH | 10. ON-BOARD TRANSFORMER (WHERE APPLICABLE) |
| 5. CONTROL | 11. ON-BOARD RECEIVING SWITCHBOARD |
| 6. SHORE-TO-SHIP CONNECTION AND INTERFACE EQUIPMENT | |

Ilustración 11: Diagrama de conexión buque-puerto según ISO/IEC/IEEE. Fuente: (19)

La norma ISO es la única de las citadas que proporciona diseños y diagramas para diseñar este tipo de instalaciones. El resto no incluye ninguna fuente visual para una instalación general de este tipo.

Calidad de la electricidad

La energía suministrada por el puerto al buque debe ser capaz de mantener la calidad de ciertos parámetros como voltaje, frecuencia y distorsiones armónicas.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Las únicas normas que tienen en cuenta este concepto son la ISO y la de Lloyd's Register. Ambas son muy similares pero la ISO es algo mas estricta que la otra.

En resumen, este apartado incluye:

Tolerancias de voltaje y frecuencia: En este apartado se marcan los límites que para la frecuencia son de +-5% y para el voltaje nominal de un 6% para un incremento de tensión sin carga y un -3.5% para una caída de tensión en condiciones de carga.

Voltajes y frecuencias transitorias: Se indica la obligación de avisar y documentar los posibles cambios bruscos respecto a la carga, definiendo un máximo para cada buque y verificando que no se superen los límites:

Rangos de voltajes transitorios +20 y -15%.

Rangos de frecuencia transitorios +-10%.

Distorsiones armónicas en condiciones sin carga: Se marca un 3% para armónicos individuales y 5% para el total de armónicos.

Variaciones permanentes en condiciones con carga: Se permite un aumento del 6% en el voltaje o una caída del -10%, mientras que para la frecuencia es de +-5%. (19)

Requisitos generales

La norma ISO para conexiones de alto voltaje (HVSC) establece que con el fin de estandarizar este tipo de instalaciones y conexiones en diferentes puertos las conexiones deben proporcionarse a 6.6 kV AC y/o 11kV AC, siempre con una separación galvánica de el sistema de distribución de puerto.

De todas formas pueden considerarse otros voltajes en buques que repitan su itinerario y tengan un atraque fijo.

Evaluación de compatibilidad antes de la conexión.

Antes de conectar cualquier buque a una conexión de alta tensión se debe efectuar una prueba para verificar que es posible una conexión entre las dos partes.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

De todas las normas citadas solo la ISO, RINA y Lloyd´s incluyen el procedimiento de comprobación.

Además de acuerdo a las reglas de Lloyd´s, el dueño es el principal responsable de realizar la evaluación de compatibilidad antes de llegar a puerto. (19)

Equipos conversores

Para transformadores, diseño y equipamiento los requisitos son más completos que para otros componentes o aspectos.

Los requisitos principales pueden organizarse en:

Requisitos constructivos basados en el standard IEC:

Los transformadores deben ser fabricados de acuerdo a la norma IEC 60076.

Los semiconductores deben ser fabricados de acuerdo a la norma IEC 60146-1.

La protección para el equipo eléctrico debe cumplir la norma IEC 61936-1.

Requisitos principales del transformador:

Debe ser de bobinados separados para el primario y secundario. El secundario deberá conectarse en configuración de estrella con el neutro en los carriles DYN.

Equipamiento del transformador:

Debe instalarse un sistema de refrigeración para los transformadores en puerto. Incluyendo una alarma que se activará cuando no se cumplan las condiciones de temperatura y flujo marcadas como límites.

Protección y requisitos de seguridad:

La temperatura de los bobinados del transformador debe ser monitorizada.

Protecciones contra cortocircuito para cada transformador.

Protección de sobrecarga.

Protección de sobrevoltaje.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Cabe destacar la importancia de la comunicación y las alarmas, que tan solo la norma ISO requiere. Mediante este sistema las alarmas que se produzcan en el muelle pueden transmitirse al buque. (19)

Aislamiento galvánico

Este tipo de aislamiento es un buen sistema para incrementar la seguridad.

En este caso solo ISO, DNV y RINA mencionan en sus reglas algunas normas en este aspecto. En resumen:

Situar una separación galvánica entre cada buque y cada fuente de alimentación en puerto.

Si esta separación es llevada a cabo por un transformador deberá:

Tener bobinados separados para el primario y el secundario.

Protección de sobrevoltaje.

Resistencia de puesta a tierra neutra.

La resistencia de puesta a tierra es uno de los aspectos de seguridad mas importantes de la instalación. Las únicas normas que incluyen regulaciones para este sistema de protección son la ISO y DNV.

El requisito principal que se extrae de este apartado es que el punto dentro del transformador debe ser puesto a tierra a través de una resistencia.

En caso de que se requiera la conversión de frecuencia del suministro de puerto puede ser puesto a tierra de la misma manera o usando un transformador con una resistencia en el bobinado primario que proporciona una falta de impedancia al sistema. Se deben cumplir estos requisitos:

La tasa de resistencia a tierra no debe ser menos de 1,25 veces la corriente preliminar en amperios.

Una falta de tierra no debe crear una variación en el voltaje superior a 30V en cualquier parte del sistema.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

El punto neutro en estrella del transformador de puerto debe ser puesto a tierra a través de una resistencia de puesta a tierra de 540 Ω .

El último requisito común a ambas normas es un sistema que permita monitorizar la conexión entre el buque y tierra. Si se detectara la desconexión accidental, el seccionador de tierra se activaría cortando el suministro eléctrico al buque. (19)

Unión equipotencial

El mantenimiento y monitorización de la unión entre el electrodo de puesta a tierra y el casco del buque es muy importante, por ello es citado por las normas ISO, ABS, RINA y BV.

Los requisitos para este apartado son:

1. Se debe establecer una unión equipotencial entre el casco del buque y el electrodo de puesta a tierra.
2. Un enclavamiento impedirá la conexión de alta tensión hasta que no se haya conectado a tierra el casco. Este enclavamiento también actuaría en caso de que se perdiera la conexión del casco a tierra cortando la fuente de alto voltaje.
3. El sistema de tierra de puerto debe ser compatible con el del buque mediante el uso de un conector normalizado.
4. La integridad de la unión equipotencial debe ser continuamente revisada como parte del sistema de seguridad de la conexión buque-tierra. (19)

Seccionadores y enclavamientos de seguridad

Los seccionadores e interruptores son los principales dispositivos de protección eléctrica ya que pueden impedir o permitir el paso de la electricidad a través de ellos. Resumiendo, las normas ISO y RINA son las más completas de nuevo ya que se refieren específicamente al cold ironing, mientras que el resto se sirven de requisitos generales. (19)

Equipamiento de interfaz

Este equipamiento sirve como unión entre el buque y el puerto y debe ser apto para el ambiente marino entre otras características.

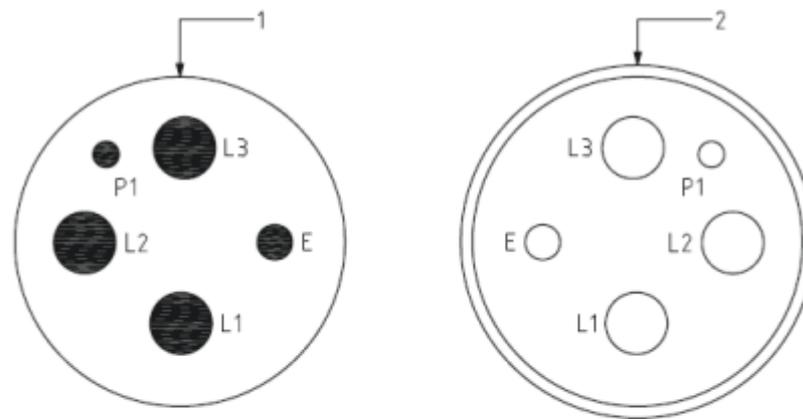
Enchufes y clavijas

El equipamiento de interfaz es fundamental a la hora de la conexión ya que es el nexo de unión entre el buque y tierra y además es muy peligroso debido a la alta tensión con la que se trabaja. Por ello el equipamiento de conexión debe garantizar tanto la seguridad del personal que lo manipula como del resto de equipamiento tanto a bordo como en puerto. En este caso todas las normas incluyen requisitos que garantizan la seguridad, aunque las normas ISO y RINA son las más estrictas.

Los principales requisitos son:

1. **Protección:** Clavijas y enchufes deben protegerse contra tierra, niebla y condensación mientras no estén en uso. El mínimo índice de protección permitido es IP66.
2. **Construcción y tamaño:** Clavijas y enchufes deben cumplir las normas IEC 62613-1 e IEC 62613-2.
3. **Ubicación:** Las conexiones deben estar en lugares donde el personal quede protegido en caso de arco eléctrico.
4. **Indicador de contacto:** Cada enchufe deberá tener indicadores luminosos que permitan la verificación de la continuidad.
5. **Sin tensiones adicionales:** Las clavijas deben ser diseñadas de forma que no transmitan voltajes al resto de equipamiento.
6. **Dispositivo de seguridad:** La unión entre la clavija y el enchufe debe quedar asegurada por un sistema mecánico que bloquee la conexión mientras se usa.
7. **Placa característica:** Cada clavija y enchufe debe tener una placa identificativa permanente, durable y visible con los siguientes datos:
 - Nombre del fabricante y marca.
 - Designación de tipo.
 - Clasificación frente a valores aplicables.

8. **Contacto de conexión:** El contacto de los pines de tierra debe producirse antes que el de los pines con tensión a la hora de conectar la clavija.



KEY

- 1. POWER PLUG FACE (SHORE SIDE PLUG)
- 2. SOCKET OUTLET FACE (SHIP SIDE SOCKET)
- E. EARTH
- P1. PILOT LINE 1 (USED FOR GROUND CHECK)
- L1. PHASE A - PHASE R
- L2. PHASE B - PHASE S
- L3. PHASE C - PHASE T

Ilustración 12: Conectores según ISO 80005-1. Fuente: (19)

Según la norma ISO/IEC/IEEE 80005-1 el diagrama del conector sería el mostrado en la ilustración 22 y debe tener:

- Contactos independientes para las tres fases.
- Un contacto a tierra.
- Un contacto piloto que permita comprobar la conexión a tierra.

Además, la norma de Lloyd's Register menciona este tipo de conector. (19)

Por otro lado, encontramos estos diagramas según la norma ABS, donde se pueden observar su forma y dimensiones.

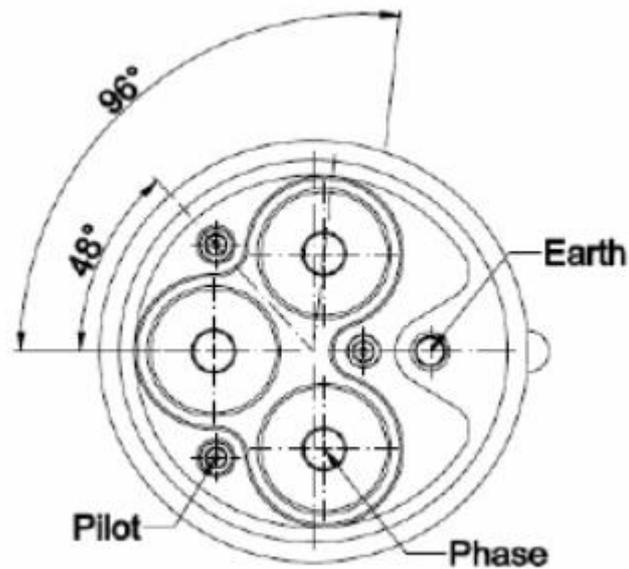


Ilustración 13: Disposición de conectores según ABS. Fuente: (19)

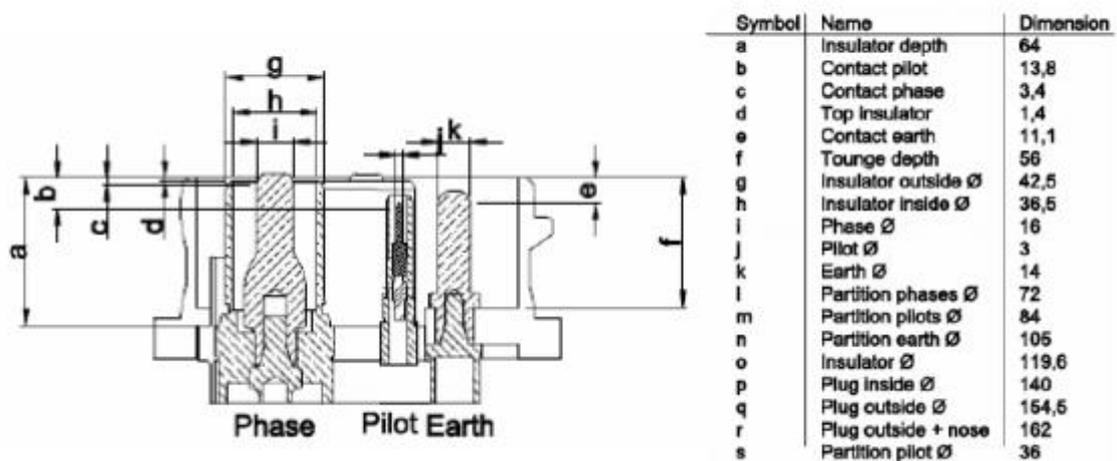


Ilustración 14: Dimensiones de conectores según ABS. Fuente: (19)

Cable

Por lo general cada norma utiliza unos requisitos propios, por lo que solo aprueban su propio cable y características.

Según la norma ISO/IEC/IEEE:

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

- El cable debe ser al menos del tipo retardante de llama (IEC 60332-1-2).
- Resistente al aceite, al ambiente marino, al agua salada, a la radiación solar (UV) y no debe ser higroscópico, es decir no debe absorber humedad del medio.
- Al menos 90°C de aislamiento y la temperatura de trabajo no debe superar los 95°C.

Las normas BV y LR se ciñen también a este estándar internacional al igual que RINA que tan solo cambia un requisito respecto a la temperatura de aislamiento que sitúa en 85°C a diferencia de la ISO que es de 90°C.

Por otro lado, ABS requiere que sea construido y probado por un estándar aceptable por ABS aunque no se especifica.

Por último, DNV requiere que esté aprobado por el programa nº 6-827.13: Cables eléctricos flexibles para buques/ alta velocidad, trabajos ligeros y trabajos en la superficie del buque.

Por lo tanto, observamos que la ISO vuelve a ser la norma más completa en este sentido. (19)

Manejo del cable

El cable flexible usado para esta conexión no puede manejarse como un cable cualquiera. Es importante que la maniobra con el cable mientras se conecta no transmita voltajes y se haga correctamente debido a la alta tensión que se maneja.

El mantenimiento de estos equipos ayudará a su correcto funcionamiento haciéndolo más sencillo y económico.

En resumen:

- Antes de conectar la alta tensión debe estar cerrado el seccionador de tierra.
- Deben existir detectores de desconexión que impidan el paso de corriente en caso de movimientos en el conector.
- Debe haber un enclavamiento mecánico que impida la desconexión del enchufe hasta que se haya abierto el seccionador de tierra impidiendo el paso de la corriente.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

- La acción de abrir y desconectar el enchufe y el conector debe ser una operación manual. (19)

Procedimiento de conexión:

Existen dos métodos de maniobra: Automático o manual.

Para un cambio automático la sincronización y el cambio de carga son operados automáticamente mientras que también puede realizarse de forma manual.

Ambos métodos de sincronización son operados con solo un motor auxiliar en marcha, para el que es necesario disminuir el consumo para hacer el cambio a la mínima carga.



Ilustración 15: Conector cold ironing militar de baja tensión. Fuente: (1)

1. Hay que confirmar que el motor auxiliar está a la mínima carga posible y el voltaje alrededor de 440V. Para bajar la guía del cable conectar el modo remoto del carrete con lo que queda listo para trabajar. Se encenderá el indicador de encendido del carrete.
2. Agarrar e izar los cables desde su posición de reposo. El carrete detendrá su rotación automáticamente cuando se acabe el cable.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

3. Dirigir los cables a la guía del carrete, revisar que no se enganche, se gire o se doble. Bajar los cables a puerto hasta que lo pueda alcanzar el personal de puerto de la terminal.
4. El personal de puerto debe estirar el cable hasta la caja de conexión, quitar las tapas protectoras de los terminales y conectarlo a la caja de conexión del puerto. El enchufe debe conectarse siguiendo el código de colores.
5. Una vez que los cables estén conectados, cambiar el selector de modo de carrete a automático. El carrete debe ahora mantener una tensión del cable correcta aún con el movimiento del buque o el viento.
6. Se debe confirmar al personal de puerto si la conexión de fibra óptica va a ser usada o no. Si se va a usar habrá que activar el interruptor del panel principal del buque. Si no la comunicación se realizará por VHF o teléfono.
7. Probar la parada de emergencia en el panel de control AMP. La luz piloto deberá apagarse confirmando el buen funcionamiento de la parada de emergencia.
8. Probar la parada de emergencia en el panel de control del carrete. La luz piloto deberá apagarse confirmando el buen funcionamiento de la parada de emergencia. Resetear desde el panel.
9. Una vez realizados estos test, se está preparado para conectar el disyuntor de vacío (VCB). Confirmar con el personal de muelle que puede conectarse y tras ello cerrar el disyuntor.



Ilustración 16: Disyuntor eléctrico de alta tensión. Fuente: (21)

10. Una vez cerrado el disyuntor se está listo para la sincronización, que podía hacerse de modo manual o automático. Primero hay que revisar los parámetros eléctricos de recepción de puerto para ver si son correctos y están dentro del rango.

Para la sincronización automática presionar el pulsador sincronizar en el panel de control AMP y efectuará el sincronismo entre buque y puerto.

Para la sincronización manual se puede hacer por medio del sincronoscopio o por el método de las tres bombillas. (20)

Procedimiento de desconexión:

El proceso de desconexión es el contrario que el de conexión. Hay que desconectar el suministro de puerto y conectar el motor auxiliar del buque.

1. Arrancar el motor auxiliar diesel del buque y llevarlo a régimen sincronizándolo con la corriente de muelle por medio del modo automático o manual. Una vez el generador esté bajo carga, desconectar el suministro eléctrico de puerto abriendo el disruptor de vacío (VCB). Abrir el disruptor solo después de haberlo confirmado con el personal de puerto.
2. Una vez que el VCB está abierto el buque ya está funcionando con su generador propio. Los cables están listos para desconectarse.
3. El personal de puerto debe desconectar los enchufes y poner las tapas.
4. Presionar el botón de subir para recoger el cable. Evitar arrastrar las tapas de los enchufes por el muelle, es preferible que sean sujetadas de forma manual para evitar el desgaste.

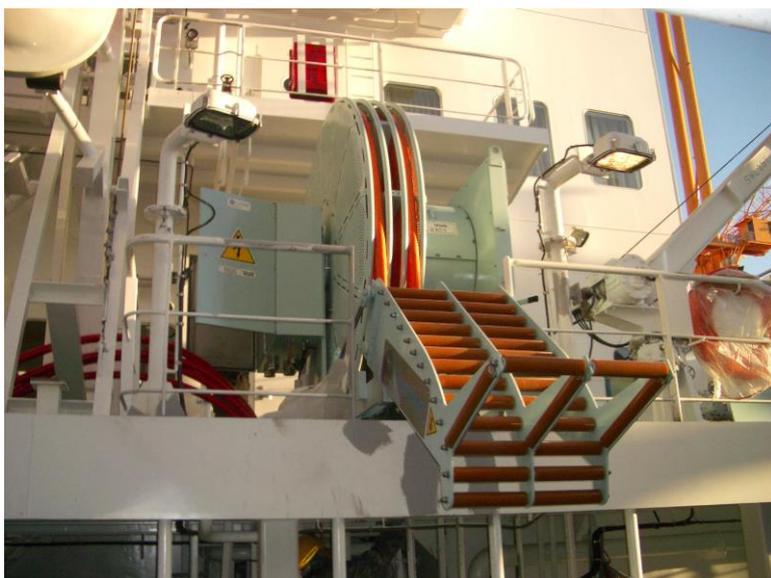


Ilustración 17: Carrete de dos cables Cavotec hasta 8 MVA. Fuente: (24)

5. Continuar presionando el botón de subir hasta que llegue al límite, con ayuda de otra persona, presionar el botón de bajar y guiar los conectores hasta la posición de reposo. Apagar el centro de control del carrete. (20)

Infraestructuras portuarias

Debido a la gran demanda eléctrica de los nuevos buques y los grandes cruceros, los puertos que ya contaban con la infraestructura para el cold ironing han pasado de conexiones de 400 voltios a conexiones de alta tensión en la actualidad. Esto se debe a la gran cantidad de cables necesarios para la conexión a 400 V, que dificultan la maniobra de conexión. Mientras que con alta tensión se puede transferir un 25% mas de energía que con un cable de 400 V y el mismo diámetro. Los puertos pioneros en el cold ironing son los siguientes :

Puerto de Göteborg (Suecia)

En 1989 se dio el primer paso en la conexión eléctrica a buques en este puerto, convirtiendo una terminal para alimentar a los ferris de pasajeros y carga rodada Stena Scandinavica y Stena Germanica con 400 V. En las ilustraciones se pueden observar los cables de 400 V conectados al buque y el edificio transformador y cableado.



Ilustración 19:Entrada de cables. Fuente: (24)



Ilustración 18: Buque Stena Scandinavica Fuente: (24)

En enero del año 2.000 se inauguró en este mismo puerto la primera conexión de alta tensión del mundo. El proyecto fue resultado de la cooperación del puerto de

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Göteborg, Stora Enso y ABB. La energía es distribuida con una subestación transformadora que proporciona 10 kV/6,6 kV o 1250 kVA. Entre la conexión del buque y la subestación se encuentra un container equipado con instrumentos de control y la salida de corriente para el cable hacia el buque. (24)



Ilustración 20: Puerto de Goteborg: Fuente: (25)

Solo se requiere la conexión de un único cable, que situado en el barco y montado en un carrete abordo posibilita que la conexión pueda realizarse a mano sin necesidad de grúas u otras soluciones. El cable de maniobra es conectado al panel de control donde la persona a cargo de la operación tiene una visión de todo el sistema. Otra persona en el puente presiona un botón cuando el buque está listo para sincronizarse. En la ilustración 22 puede observarse la primera instalación de alto voltaje en el puerto de Göteborg, el edificio de la parte superior izquierda contiene el transformador y los elementos de maniobra mientras que el contenedor azul contiene los elementos de conexión que se muestran en la ilustraciones siguientes. (24)

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”



Ilustración 22: Casetas de conexión. Fuente: (24)



Ilustración 21: Interior del contenedor. Fuente: (24)

En 2003 se convirtió otra terminal para usar el sistema OPS, similar a la anterior pero con las diferencias de que el transformador toma 10 kV directamente de la red del puerto y que en esta ocasión el único cable necesario lo proporciona el puerto.



Ilustración 23: Maniobra con el cable. Fuente: (24)

En 2.006 una terminal adicional fue convertida para dar servicio a uno de los ferries de pasajeros a Dinamarca, Stena Danica, donde el suministro de 10 kV es transformador a 400v abordo. Esta solución se utiliza cuando el buque está atracado más de tres horas en el puerto de Göteborg. (24)

Puerto de Estocolmo (Suecia)

En 1.985 se inauguró en Suecia una conexión de bajo voltaje a 400 V y 50 Hz para la conexión de grandes buques. La conexión está situada en Stadsgården y da servicio a los buques Viking Cinderella y Birger Jarl que operan hacia la isla de Aland . para poder transferir la cantidad suficiente de energía que es de 2,5 MW es necesario conectar 9 cables antes de que los generadores del buque puedan detenerse. (24)



Ilustración 24:Plataforma portacables.

Fuente: (24)

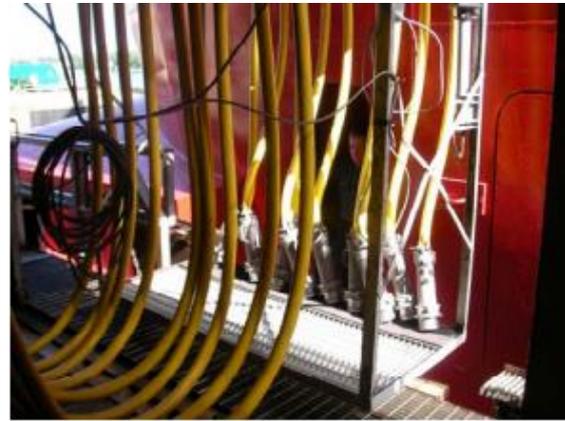


Ilustración 25: Cables dispuestos junto al buque.

Fuente: (24)

En 2006 se introdujo una nueva conexión, en este caso a 690 V y 50 Hz, se requieren 12 cables para la conexión, para ello se ha construido una estructura adaptada en puerto para soportar el cable, gracias a ello el proceso de conexión se lleva a cabo en aproximadamente 5 minutos.

Durante el otoño de 2006 otra conexión muelle- buque de baja tensión a 690 V y 50 Hz fue inaugurada para los ferris de pasaje de la empresa Tallink- Victoria I y Romantika en la terminal Freeport del puerto de Estocolmo. La energía se distribuye por medio de una subestación transformadora en el muelle. Entre la subestación transformadora y el buque se sitúa un soporte flexible que es capaz de entregar la

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

cantidad suficiente de energía a los buques. Se necesitan conectar 12 cables antes de que se puedan detener los generadores del buque. Antes de la salida se arrancan los generadores de nuevo y se desconectan los cables. Este proceso también se lleva a cabo en aproximadamente 5 minutos. (24)



Ilustración 27: Cables de 400 V. Fuente: (24)



Ilustración 26: Conector de 400 V. Fuente: (24)

Puerto de Helsingborg

La conexión es de 400 V, 50 Hz y dos cables de 250 Amperios, suficientes para un suministro limitado.

Puerto de Kemi

En 2006 se implantó una conexión de 6,6 kV de similares características al puerto de Góteborg ya que se conecta el mismo buque

Puerto de Melilla

En España, una de las pioneras en este tema ha sido, la autoridad portuaria de Melilla.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Como primer paso valoraron la viabilidad del proyecto en términos de economía y medio ambiente, decidiendo realizar la infraestructura eléctrica en el muelle del Espigón, ribera I y ribera II. (15)



Ilustración 28: Caja de conexión para buque en Melilla. Fuente: (15)

Uno de las principales razones fue un ferry ro-pax que pasa la noche atracado allí causando ruidos y vibraciones molestando al vecindario cercano. Al ser un buque de línea regular resultó muy interesante para amortizar la inversión rápidamente.

En la estimación de reducción de emisiones aparte de eliminar las vibraciones y ruidos, se realizó un cálculo de que si todos los buques que atracan en el puerto de melilla contando solo con la potencia generada por los motores auxiliares reduciríamos 135 Tn de CO₂ anuales. (15)

Todos los buques estudiados estaban provistos de un sistema de conexión eléctrica a tierra trabajando a 380 V de tensión y 50 Hz de frecuencia exceptuando uno que funcionaba a 60 Hz y no se tuvo en cuenta para el estudio. Por tanto, se realizó un

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

sistema de suministro eléctrico en los 3 puertos nombrados anteriormente, a baja tensión y a 50Hz de frecuencia.

Para determinar la potencia demandada supusieron que en los tres muelles habían buques conectados simultáneamente, de manera que la red eléctrica de melilla deberá aportar dicha potencia y la autoridad portuaria debe tener las reservas suficientes para ello.

Los buques deberán realizar una reforma en sus sistemas eléctricos ya que sus instalaciones están pensadas solo para reparaciones en dique seco.

Las obras desarrolladas en el Espigón fueron las siguientes:

Desmontar cuadro general de BT (Baja tensión) instalando uno nuevo que incorpore las salidas adaptadas para la conexión.

Realizar el tendido de una línea subterránea de BT, hasta los puntos de conexión.

Instalación de un cuadro que vaya desde las tomas de tierra al buque. (15)

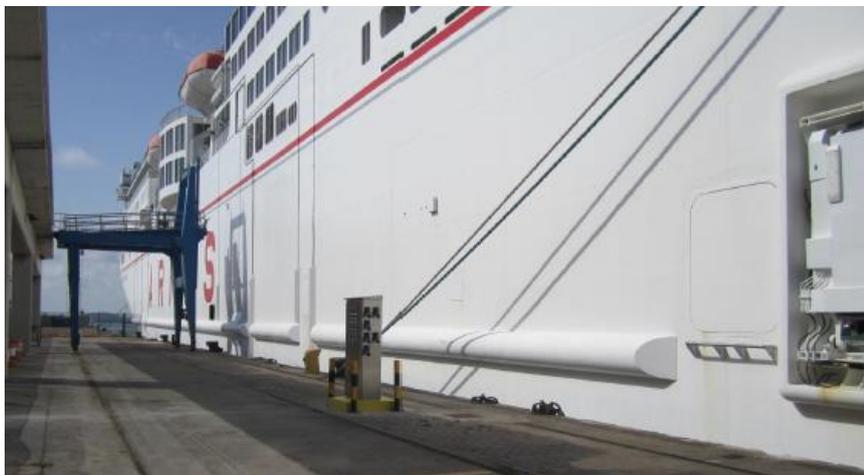


Ilustración 29: Muelle del Espigón en Melilla. Fuente: (15)

Empresas en el mercado

Actualmente solo existen unas pocas empresas en el mercado que hayan llevado a cabo una instalación de cold ironing que esté en servicio en puertos alrededor del mundo. Hay aún menos empresas hoy en el mercado que sean capaces de suministrar sistemas convertidores de frecuencia. En este capítulo se presentarán las principales compañías en el mercado capaces de realizar instalaciones tanto en puerto como a bordo.

ABB

ABB es uno de los suministradores más importantes para buques y puertos en todo el mundo. Además, es uno de los mayores proveedores de cuadros eléctricos principales en buques. Cuando el puerto de Göteborg planeaba construir la primera conexión a alta tensión dedicada a buques Ro/Ro, ABB fue contratada para llevar a cabo la instalación y el diseño del suministro de alto voltaje desde puerto. Cuando las líneas de cruceros Princess solicitaron ayuda para instalar el control de energía y el sistema de monitorización a bordo de los buques, ABB instaló el equipamiento necesario. (24)



Ilustración 30: Grúa portacables ABB. Fuente: (24)

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Siemens

Si harbor es el nombre del sistema cold ironing de Siemens. La instalación en el puerto de Lübeck es la única referencia del sistema SIHARBOR hoy en día.

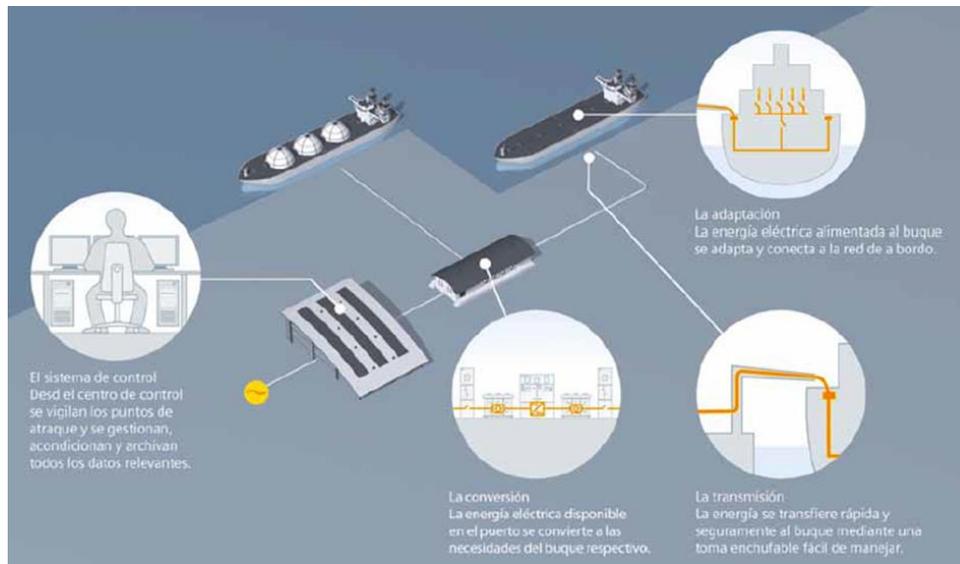


Ilustración 31: Esquema del sistema SIHARBOR. Fuente: (8)

Además, Siemens ha desarrollado un sistema cold ironing llamado Siplink, que se usa para conectar buques que trabajan a 60 Hz a la red eléctrica europea. Según Siemens, este sistema permite la unión entre el sistema eléctrico del buque a la red eléctrica existente en el muelle incluso cuando las frecuencias son diferentes. Aun así, el sistema Siplink no ha sido instalado aún en ningún puerto. Solamente ha sido instalado en dos astilleros en Alemania: El de Flensburg y el de Flender Werft AG. (24)

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

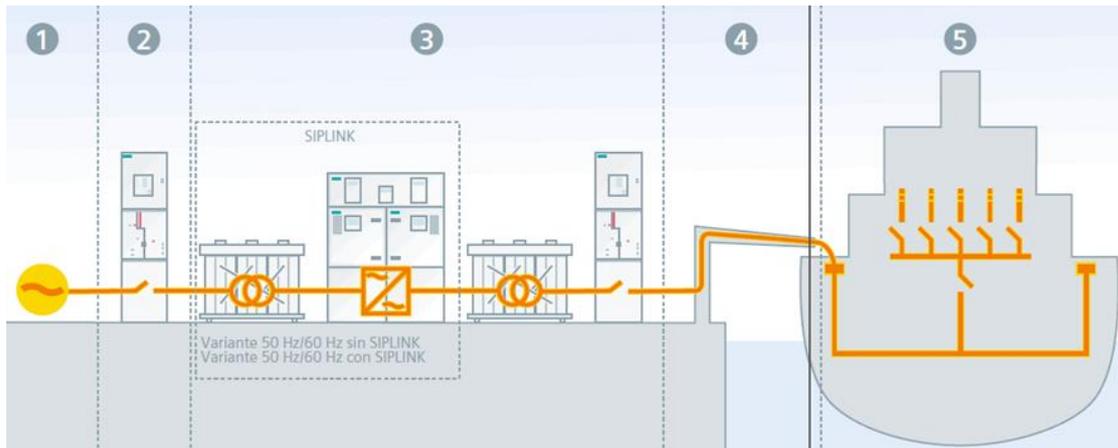


Ilustración 32: Esquema del sistema SIPLINK. Fuente: (8)

Cavotec

Cavotec tiene 18 años de experiencia en conexiones cold ironing. Tienen los sistemas líderes mundiales en carretes de cables, conectores y enchufes que se han hecho prácticamente un estándar para conexiones buque-puerto.

Esta empresa ha equipado más de 14 buques con carretes de cable, enchufes o conectores para posibilitar su conexión a puerto.

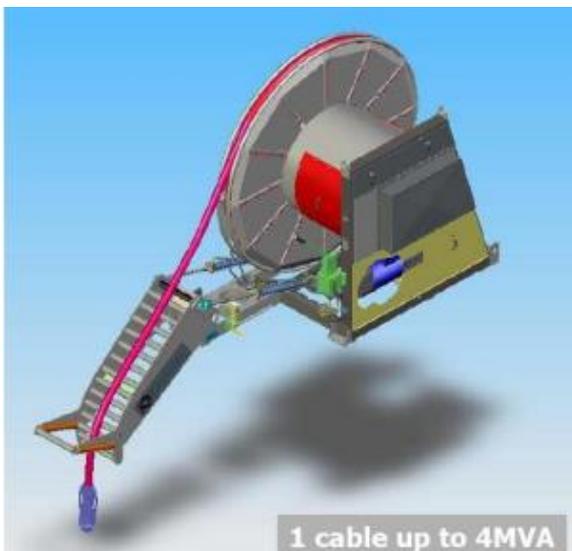


Ilustración 33: Carrete de 1 cable para 4 MVA.
Fuente: (24)

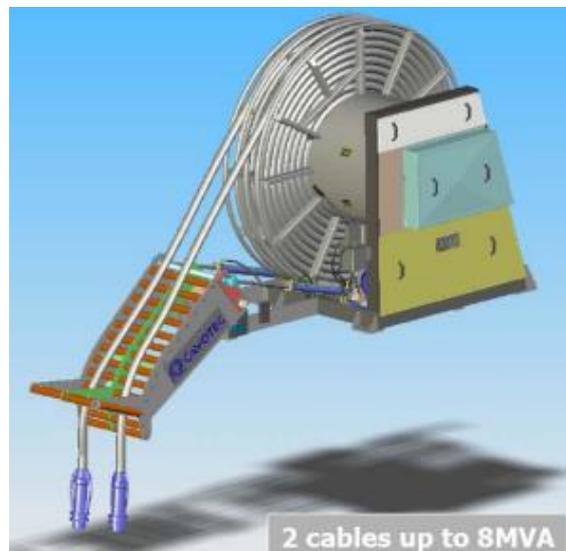


Ilustración 34: Carrete de 2 cables hasta 8 MVA.
Fuente: (24)

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

La compañía ha participado en muchos proyectos de cold ironing y ha suministrado la mayor parte del equipamiento para la conexión en el buque. (24)



Ilustración 35: Representación de conector estándar Cavotec. Fuente: (24)

Sam electronics

Desde 2003 Sam Electronics ha suministrado el equipamiento a más de 20 sistemas de cold ironing, incluyendo buques y puertos.

Esta empresa fue contratada por el puerto de Los Ángeles para suministrar el equipamiento necesario para la primera terminal equipada con cold ironing.

Sam Electronics también ha sido contratada por el puerto de Amberes para construir la primera terminal capaz de suministrar electricidad a 50 y a 60 Hz. Aun así, es la empresa más grande del mercado con referencias de sus sistemas de bajo voltaje a 400 V y alta tensión a 6,6 y 11kV. Además, suministran contenedores y barcasas prefabricadas con el equipamiento necesario para dar electricidad al buque. (24)

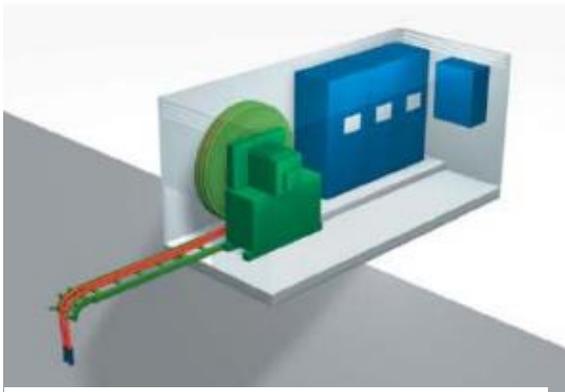


Ilustración 36: Contenedor con el equipamiento normal de puerto a bordo de un buque. Fuente: (24)

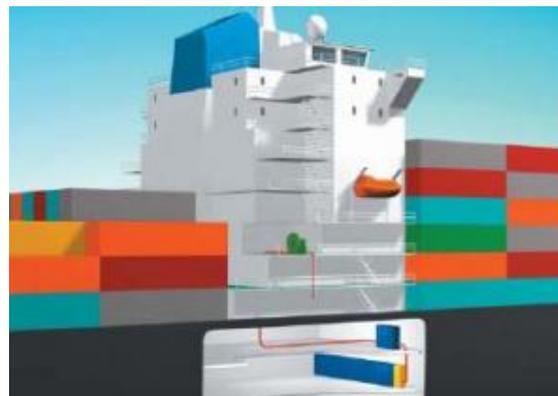


Ilustración 37: Situación del contenedor a bordo del buque. Fuente: (24)

Terasaki

Terasaki ha estado desarrollando sistemas a bordo desde los años 90. El muelle de los Ángeles contactó con Terasaki para diseñar una conexión cold ironing de 6,6 kV. La compañía ofrece la instalación necesaria para una conexión de 6,6 kV de similares características a la instalada en el puerto de Göteborg.

Por el momento esta empresa solo ofrece conexiones a 50 Hz. (24)

Patton & Cooke

Cuando la línea de cruceros Princess necesitó una conexión de alto voltaje a puerto para sus cuatro buques en el puerto de Juneau, esta empresa fue contratada para llevar a cabo el diseño y la instalación del equipamiento necesario. (24)

Callenberg engineering Inc

Callenberg Fläkt Marine, previously ABB Fläkt Marine, ha desarrollado suministrado y mantenido a la industria marítima durante siete décadas. Cuando la línea de cruceros Princess quiso conectar sus buques a una conexión de alto voltaje contactaron con esta empresa. Ellos empezaron a trabajar para alimentar eléctricamente a los buques y la primera misión fue producir ejemplos de cables que pudieran transmitir de forma segura el voltaje y la corriente requeridas por el buque. Además, se creó un carro portacables adicional para el cableado de alto voltaje junto a los conectores a medida suministrados por la compañía. (24)

IV.METODOLOGÍA

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

IV. METODOLOGIA:

La metodología utilizada a la hora de elaborar este trabajo se ha dividido en los siguientes apartados:

Documentación bibliográfica

La documentación bibliográfica expuesta en este TFG, parte de distintas fuentes bibliográficas entre las que se incluyen páginas web, libros, manuales de buques y fabricantes.

Metodología del trabajo de campo

El trabajo de campo parte de las visitas realizadas a los buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía de las cuales hemos podido visualizar la instalación y compararla con los distintos sistemas existentes para poder proponer la solución que mejor se adapte a las necesidades de dichos buques.

Marco referencial

La información ha sido aportada por la compañía Bernard&Schulter en referencia a sus buques OPDR Canarias y OPDR Andalucía.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

V.RESULTADOS

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

V.RESULTADOS:

Introducción

Después de haber leído y entendido los distintos sistemas de cold ironing, se propone un estudio viable de este sistema a bordo del buque llamado OPDR ANDALUCÍA, registrado con el numero IMO: 9331206, es un buque de carga ConRo y actualmente navega bajo bandera española, aunque la empresa es alemana. Fue construido en 2006, tiene una manga de 22m y una eslora de 145m.

Hemos elegido este buque por las facilidades que nos han ofrecido para visitarlo y conseguir la información necesaria para la realización de este trabajo.

Hay que tener en cuenta que este no es el único motivo, este buque con la inversión de mejora del cold ironing conseguirá adaptarse a las nuevas normativas de emisiones en puertos, promoviendo las nuevas tecnologías, por tanto, en caso de venta del buque no sería una mala inversión ya que tendrá un sistema adaptable a cualquier puerto que tenga conexión eléctrica en muelle.

La ruta que realiza actualmente es Las Palmas – Sevilla – Tenerife - Las Palmas. Es verdad que estos puertos ya han empezado con dicha tecnología, con el plan OPS MASTER PLAN financiado por la Unión Europea y promovida por puertos del estado, reduciendo impuestos a cualquier consumo eléctrico mientras están atracados sin usar los motores auxiliares. Pero este proyecto se centra únicamente en el diseño y elección del sistema de cold ironing a bordo del OPDR ANDALUCÍA y que este sea capaz de conectarse a cualquier puerto que tenga conexión eléctrica de manera fácil y rápida.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Para comenzar con el estudio de viabilidad debemos tener en cuenta, los siguientes aspectos:

- Diferencial de contaminación mientras el buque está atracado con y sin el sistema cold ironing ya que este es el principal factor por el que se propone este proyecto, para así poder adaptarnos a las presentes y futuras normativas cada vez más estrictas con las emisiones y la contaminación en general.
- Valorar el precio de la instalación y saber en cuanto tiempo será amortizada, o conocer si será de utilidad económica para la empresa.
- Tener clara la ubicación de la instalación a bordo.
- Realizar un tipo de conexión adaptable a cualquier voltaje y frecuencia de manera que no tenga problema de conexión en cualquier muelle existente. Deberá informarse al muelle de las siguientes cuestiones para dar facilidad a la conexión:
 - ¿Qué tensiones a bordo deben considerarse?
 - ¿Qué frecuencias a bordo deben considerarse?
 - ¿Qué consumo total de potencia tiene previsto el buque?
- La conexión debe realizarse de manera fácil y rápida.

Rentabilidad según tipo de buque y tiempo de estancia en puerto

Dependiendo del tipo de buque y el tiempo que pase en puerto puede ser más o menos rentable la implantación del cold ironing, por lo que es fundamental tener en cuenta estos factores a la hora de tomar una decisión.

Además, lejos de esta rentabilidad a corto plazo aumentan las posibilidades en torno a posibles cambios de rutas, aumento del precio de venta del buque y ampliación del mercado, ya que el buque adaptado obtendrá ventajas en tasas de puerto, consumo de combustible y mantenimiento que lo harán más llamativo ante posibles compradores.

En principio se puede deducir fácilmente que a mayor tiempo de estancia en puerto mayor rentabilidad obtendrá el buque al mantener sus motores parados, ahorrar en mantenimiento y combustible y beneficiarse de reducciones de tasas y coste de la electricidad consumida.

Para ello el buque debe ser compatible con la conexión de los distintos puertos de su ruta, aunque la rentabilidad comenzará a disminuir tan pronto como visite puertos donde no se pueda conectar o no exista esta tecnología, ya que no podría aprovechar su inversión del todo.

Principalmente el tipo de buque es importante por dos factores:

- **Consumo eléctrico:** Por lo general a mayor tamaño del buque mayor será su consumo eléctrico, aun así, el factor principal es el tipo de buque ya que dependiendo de lo que transporte tendrá un consumo mayor o menor. Los buques con un mayor consumo eléctrico son los cruceros, ya que en ellos viajan muchas personas que requieren de iluminación, música, aparatos eléctricos, ventilación, climatización. En este caso el buque portacontenedores mantiene un consumo intermedio, llegando como máximo a 1500 kW en puerto.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

- Tiempo de estancia condicionado por tipo de buque: Por el tiempo medio de estancia en puerto se pueden agrupar los tipos de buque, esto se debe a que no en todos los buques el objetivo es transportar carga de forma rápida y eficaz, sino que en algunos como los cruceros que hacen visitas con fines turísticos a distintos puertos y tanto el tiempo de estancia en puerto como el tiempo de la ruta es mayor para un mismo trayecto.

Otros factores que también influyen en la rentabilidad de forma secundaria son:

- Ruta realizada
- Posibilidad de cambios de ruta para mayor aprovechamiento
- Tiempo navegando/ Tiempo en puerto
- Ventajas fiscales en distintos puertos
- Precio por consumo eléctrico
- Posibles acuerdos con empresa eléctrica y portuaria
- Aumento del valor del buque

Rutas y tiempos en puerto

Debido a que parte del tiempo el buque se encuentra atracado en muelle es conveniente conocer cuantas horas se encuentra en esta situación con el fin de saber cuántas horas a la semana podría estar aprovechándose del sistema de cold ironing.

1. Buque OPDR CANARIAS. -
 - Sevilla: Llegada todos los lunes sobre 22.00 hrs. Operativa los martes entre 08.00 y 16.00 hrs. Salida de Sevilla.
 - S/C de Tenerife. Llegada todos los jueves sobre las 24.00 hrs. Opera los viernes en dos terminales, de 08.00-13.00 hrs y de 14.00 a 19.00 hrs. Salida para Las Palmas G.C.
 - Las Palmas de Gran Canaria. Llegada todos los viernes sobre 23.00 hrs. Opera los sábados desde 08.00 a 14.00 hrs. Salida para Sevilla.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

2. Buque OPDR ANDALUCIA. -

- Sevilla: Llegada todos los jueves sobre las 18.00 hrs. Operativa los viernes entre 08.00 y 16.00 hrs. Salida de Sevilla.
- S/C de Tenerife. Llegada todos los lunes sobre las 06.00 hrs. Opera la mañana del lunes en Tenerife, desde 08.00 a 13.00 hrs. Salida para Las Palmas G.C.
- Las Palmas de Gran Canaria. Llegada todos los lunes sobre las 18.00 hrs. Opera el lunes tarde noche desde 20.00 a 24.00 hrs. Salida para Arrecife de Lanzarote.
- Arrecife de Lanzarote. Llegada todos los martes sobre las 07.00 hrs. Opera la mañana del martes desde 08.00 a 12.00 hrs. Salida para Sevilla

Mediante estos datos podemos elaborar una tabla que facilite su interpretación:

Tabla 2: Tiempos de estancia en puerto OPDR. Fuente: Trabajo de campo

	Horas de estancia en el puerto Sevilla.	Horas de estancia en el puerto Santa Cruz.	Horas de estancia en el puerto de Las Palmas.	Horas de estancia en el puerto de Arrecife.	Horas de estancia Totales en muelles a la semana.
OPDR Canarias.	17 horas.	19 horas.	14 horas.		50 horas.
OPDR Andalucía.	22 horas.	7 horas.	6 horas.	5 horas.	40 horas.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Como podemos observar el buque OPDR Canarias pasa 50 horas a la semana en puerto mientras que el Andalucía 40. En ambos casos son bastantes horas de aprovechamiento del sistema OPS, pero salta a la vista que en este aspecto sería más conveniente su instalación en el OPDR Canarias ya que el tiempo en muelle es de 10 horas más a la semana, aunque otra posibilidad sería instalarlo en el Andalucía como teníamos previsto e intercambiar las rutas de los buques.

Consumo estimado

Actualmente el buque obtiene la electricidad en puerto por medio de sus tres motores auxiliares que generan 500 kW cada uno, por lo tanto, como máximo podría generar en puerto 1500 kW. Tomaremos este dato como consumo máximo en puerto, ya que la instalación a bordo está dimensionada para este consumo y en principio no es necesario aumentarlo.

Los contenedores frigoríficos son la principal causa de las variaciones en el consumo eléctrico ya que el buque dispone de 125 conexiones y según el número de ellas que estén en uso el consumo puede ir desde menos de 500 kW hasta casi los 1500 kW.

Situación actual

En estos momentos no es posible la conexión del buque a puerto ya que no fue diseñado para ello. La única conexión a tierra posible se hace a través del cuadro de emergencia y solo se realiza cuando el buque está en astillero.

Para utilizar esta conexión se conectan cables que alimentan circuitos independientes, así se podría trabajar en distintas partes del buque de forma segura y con electricidad.

Conexión buque-tierra

El principal problema de esta conexión es que el buque tiene que parar todos sus motores antes de poder conectarse ya que no es posible sincronizar los motores con la electricidad proveniente de tierra sin el equipamiento necesario.

Para esta conexión se requieren varios cables ya que como vimos en los antecedentes a 440 V las caídas de tensión son muy altas debido a la elevada corriente consumida. Estos cables alimentan por separado distintas partes o conjunto de equipos del buque, así uno puede ser para iluminación e instrumentos y otro para el resto de equipos, por ejemplo.

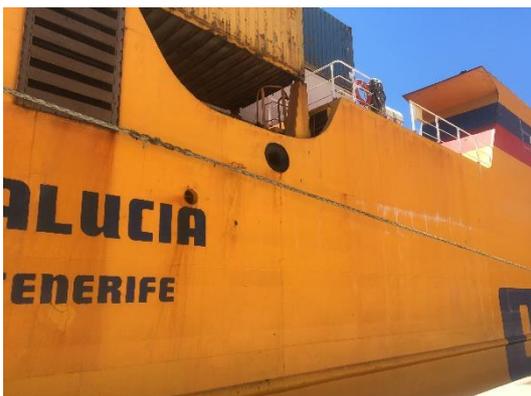


Ilustración 39: Costado del buque visto desde puerto. Fuente: Trabajo de campo



Ilustración 38: Entrada a la caseta del generador de emergencia. Fuente: Trabajo de campo

Los conectores se encuentran en el interior de la caseta que alberga el generador de emergencia y sus armarios, esta caseta se ubica tras la chimenea en el lado de estribor.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”



Ilustración 41: Generador de emergencia e interior de la caseta. Fuente: Trabajo de campo



Ilustración 40: Armario de conexión a tierra en la actualidad. Fuente: Trabajo de campo

Otro problema que surge es la conexión en el lado de babor cuando sea necesaria ya que no hay caseta ni espacio suficiente en la actualidad, aunque podría adaptarse esta parte del buque ya que no tiene gran utilidad.

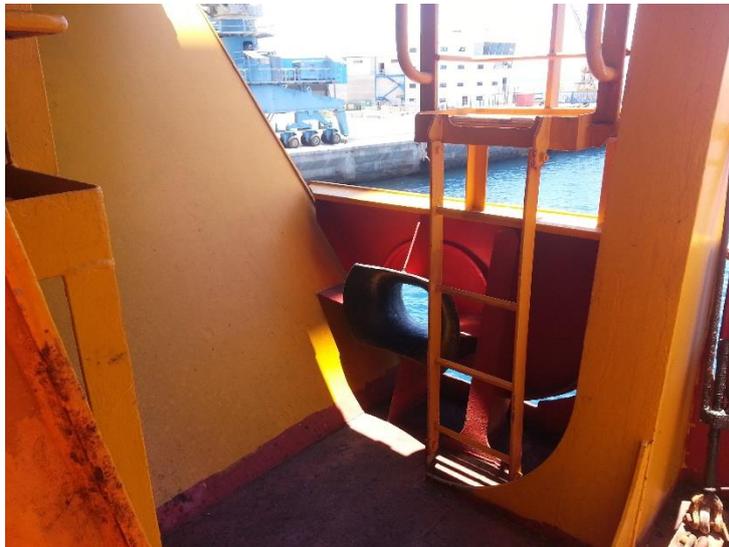


Ilustración 42: Espacio en el lado de babor. Fuente: Trabajo de campo

Control de generadores

Actualmente el control de los motores lo llevan a cabo autómatas de la marca Deif tipo PPU-Power management y cada generador tiene uno propio que actúa como esclavo del principal o maestro que controla el funcionamiento de todos ellos además de interpretar los datos recibidos y actuar según el modo de funcionamiento preseleccionado.

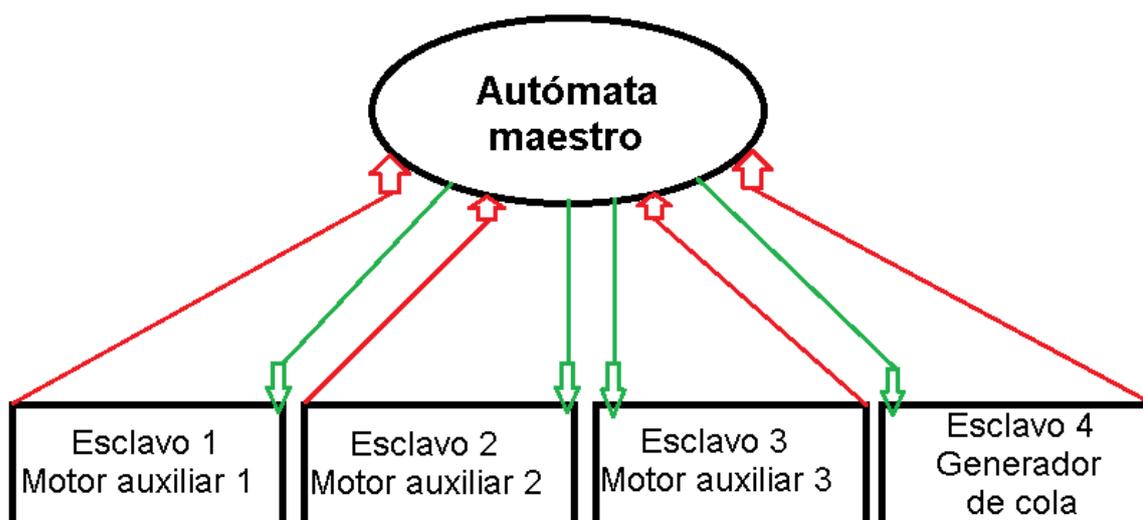


Ilustración 43: Diagrama de funcionamiento de autómatas. Fuente: Elaboración propia

Estos autómatas se encuentran en el interior de la sala de control de la sala de máquinas junto al resto de automatismos y armarios eléctricos.

Se encuentra un armario eléctrico para cada generador, con el autómata situado en la puerta del armario además de un voltímetro, amperímetro, medidor de consumo, comparador de frecuencia y sincronoscopio. Mediante los cuales se pueden observar los datos de la señal eléctrica e incluso sincronizarlos de forma manual si fuera necesario.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”



Ilustración 44: Vista del armario del generador 2. Fuente: Trabajo de campo

El armario del generador 1 alberga también el autómata maestro que posee distintos modos de funcionamiento además del manual y automático, dando prioridad al arranque de unos generadores sobre otros para las distintas situaciones de carga y navegación en las que pueda encontrarse el buque.



Ilustración 45: Armario del generador 1 y autómata maestro.

Fuente: Trabajo de campo

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Debido a ello contiene también más indicadores luminosos y botones que el resto que indican el modo de funcionamiento y distintos fallos además de conexiones activas.



Ilustración 46: Vista de los 4 armarios de generadores.

Fuente: Trabajo de campo

Posibilidades

Como los puertos que visita este buque actualmente no poseen una conexión cold ironing disponible en las terminales donde atracar debemos barajar las distintas posibilidades que se tienen en cuanto a la tensión a utilizar y ubicación de distintos equipos.

Actualmente existen dos posibilidades respecto al voltaje:

- 440 V AC: La ventaja de este voltaje reside en que no necesitaría transformador ninguno en el buque, ya que este voltaje es el utilizado en él. Simplifica la instalación, aunque requiere la conexión de varios cables a diferencia de uno solo que es el modo más usado en alto voltaje.

La normativa también es más simple, ya que las que se ocupan de estas tensiones no son tan estrictas: ISO/IEC/IEEE, DNV y Lloyd's register son las entidades que ofrecen normas para conexiones de baja tensión, el resto::

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Bureau Veritas, ABS y RINA se ciñen a normas para conexiones a alta tensión.



Ilustración 47: Conexión OPS 440 V. Fuente: (26)

- 6,6 kV AC: Su principal ventaja es que está mucho más estandarizado que la conexión a 440 y todo indica que será en un futuro la conexión más utilizada. Otra ventaja es que reduce el número de cables entre puerto y buque a 1 solo aunque de grandes dimensiones en comparación con los de 440 V.

Como desventaja encontramos que requiere la ubicación de un transformador en el buque, para convertir los 6,6 kV en los 440 V utilizados en el buque.

Además, un requisito fundamental para el uso de cualquier voltaje es que el puerto instale un convertidor de frecuencia para transformar los 50 Hz de la red eléctrica en los 60 Hz utilizados por el buque. En caso de que el puerto no optara por instalarlo la conexión no sería posible a no ser que se instalara en el barco, lo que supone un desembolso económico bastante grande y difícil de amortizar en comparación con el uso que le podría dar el puerto.

Conexión por babor

Aquí surge el primer problema no en todos los muelles atracara a estribor en algún momento atracara por babor y en este lado es un poco más complicado de colocar la caja de conexión a tierra y de llevar el cableado.



Ilustración 49: Bodega de buque OPDR Andalucía.

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración 48: Techo de la bodega y bandeja.

Fuente: Trabajo de campo

En estas dos imágenes se aprecia el techo de la bodega y la bandeja que se aprovechara para pasar el cable.

Para la conexión a babor tiraremos los cables por todo el techo de la bodega aprovechando una bandeja de cableado ya existente y llegaremos hasta babor donde colocaremos la otra conexión a tierra, seguramente quitando parte de la estructura que contiene conductos de ventilación que pueden colocarse de otra forma.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”



Ilustración 51: Ubicación de conexión lado babor.

Fuente: Trabajo de campo



Ilustración 50: Ubicación de conexión lado babor.

Fuente: Trabajo de campo

Este es el lado de babor donde realizaríamos la conexión a tierra, quitaríamos la plancha amarilla que se en la izquierda de ambas fotos y realizaríamos un pequeño cuadro junto con la conexión.

Instalación a 440V en corriente alterna

Como se dice en el apartado anterior, la instalación a 440V es la más simple, y su mayor problema reside en la necesidad de conectar varios cables.

Sin duda es la opción más económica al no requerir transformador a bordo y ser el material eléctrico más simple, común y manejable. Por ello podría ser a simple vista la mejor opción.

El problema reside en que desde nuestro punto de vista es poco probable que se opte por esta conexión en la terminal de contenedores que visitan los buques estudiados, ya que a esta terminal llegan buques de tamaños muy superiores como el Guayaquil de Maersk que posiblemente necesitaría una gran cantidad de cables para conectarse.

Por ello y ante la incertidumbre respecto al tema ya que el buque visita varios puertos hemos decidido optar por la conexión más frecuentada en la actualidad y

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

con mayor compatibilidad, aunque en caso de que se instale en los puertos visitados la conexión a 440V sin duda será la opción más simple y económica.

Instalación elegida

Debido a las características del buque y a su consumo es posible su adaptación para el uso de cold ironing. El principal problema surge en que los puertos que visita actualmente no poseen conexiones en los muelles de carga de contenedores, pero está prevista su instalación próximamente.

En vista de las tendencias y el plan OPS master plan deducimos que la conexión de 6,6 kV es la más utilizada en los puertos de todo el mundo y la que más posibilidades brinda a un buque de este tipo, haciendo posible la conexión con un solo cable y en menor tiempo que si fuera a 440 V ya que habría que conectar más cables además de utilizar una estructura para soportarlos y acercarlos hasta el buque.

Para hacer posible este tipo de conexión es necesario un transformador a bordo que pase los 6,6 kV a 440V. Además, y debido a que el buque funciona a 60 Hz es necesario también un convertidor de frecuencia, que transforme los 50 Hz de la red eléctrica europea a los 60 Hz que utiliza el buque. Este convertidor puede ubicarse tanto en el buque como en puerto, pero es imprescindible para que funcionen todos los equipos a bordo.

Dicho convertidor de frecuencia es el equipo con mayor coste de toda la instalación, por lo que debe estudiarse cuidadosamente su instalación en el buque ya que en el caso de que todos los puertos que visita el buque proporcionaran los 6,6 kV a 60 Hz sería un gasto totalmente prescindible.

Por otro lado, la instalación de dicho convertidor garantiza que sea posible la conexión en casi cualquier puerto del mundo que use el sistema cold ironing a 6,6 kV e incluso 440 V aun teniendo una frecuencia diferente a la del buque.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

Por otra parte, y como se ha visto en apartados anteriores sería conveniente colocar otra toma para conexión a tierra en el lado de babor, ya que facilitaría la conexión en distintos puertos y distintas posiciones.

La maniobra con el cable de alta tensión es otro factor importante, debe ser lo más simple posible, para ello lo más efectivo es una grúa que permita bajar y recoger el cable hasta el muelle, aunque existen puertos que tienen su propia grúa para acercar el cable al buque, en este caso con intenciones de posibilitar la conexión en cualquier puerto optaremos porque el buque tenga su propio cable y a también sea capaz de conectar el proporcionado por el muelle en aquellos casos en los que la maniobra sea mas simple.

Elementos necesarios

Como elementos fundamentales de la instalación serán necesarios los siguientes elementos en el buque:

- Transformador 6,6 kV- 440 V
- Cuadro eléctrico de maniobra adaptado al buque
- Terminal de conexión en cubierta
- Cable para conexión a muelle (Lo puede suministrar el puerto)
- Cableado para la instalación eléctrica del buque
- Autómata para realizar la sincronización de los motores
- Equipos de protección

Como elementos opcionales encontramos:

- Grúa a bordo buque para maniobrar el cable
- Carrete para almacenar el cable
- Convertidor de frecuencia 50- 60 Hz
- Terminal de conexión en cubierta en las dos bandas

Elementos a añadir en el buque

Autómata y cuadro eléctrico

Partiendo desde el buque encontramos que el primer elemento importante necesario es el autómata que controla la sincronización, encendido y apagado de los motores. Actualmente encontramos una configuración de 1 autómata maestro y 4 esclavos, cada uno para un generador del buque (3 auxiliares y generador de cola) a lo que habría que añadir otro más para manejar la señal proveniente de tierra. Con ello y reprogramando el maestro el buque sería capaz de manejar la sincronización como si fuera un generador más, con la diferencia de que no se puede variar su velocidad para acoplarlo como si de un generador auxiliar se tratara, por lo que el autómata maestro deberá actuar por medio de su respectivo esclavo en la velocidad del generador auxiliar que esté funcionando en ese momento.

La ubicación de este autómata será en la sala de control de máquinas en otro armario similar a los ya existentes y junto al resto de armarios eléctricos.

Actualmente el buque utiliza autómatas Deif PPU- Power Management por tanto optaremos por otro de la misma marca para garantizar la compatibilidad.



Ilustración 53: Vista frontal Deif PPU-3. Fuente: (27)



Ilustración 52: Vista trasera Deif PPU-3. Fuente: (27)

Cableado

El cable de tipo flexible debe ser elegido según la norma ISO/IEC/IEEE 8005-1 y con ello nos referimos al cable de alta tensión que va desde el conector del buque hasta el transformador.

Transformador

Para llevar a cabo tipo de conexión prevista a alta tensión, es imprescindible el emplazamiento de un transformador en el buque capaz de convertir los 6,6 kV provenientes de la red eléctrica a los 440 V utilizados en el buque.

Dicho transformador debe ser trifásico y debe soportar como mínimo los 1500 kW de consumo máximo en puerto y debe ser apto para instalarlo en un buque

Además, por normativa encontramos que tiene que estar refrigerado y debe tener una alarma de temperatura.

Interfaz por duplicado en cubierta (Babor y estribor):

Debido a la instalación prevista tanto en el lado de babor como en estribor todo este equipamiento deberá estar por duplicado tanto en un lado como en el otro debido a la cantidad de contenedores en cubierta y a la dificultad y falta de seguridad que podría desencadenar atravesar toda la cubierta con un cable de alta tensión.

Cuadro eléctrico de maniobra

Este cuadro se debe ubicar junto al conector, en el, el operario a cargo de la maniobra podrá verificar mediante una serie de testigos luminosos la correcta conexión tanto de tierra como de las fases, además de detectar y poder identificar rápidamente problemas derivados de la conexión

Terminal de conexión a puerto

Para conectar el buque a puerto se deberá utilizar un conector de alta tensión que cumpla la normativa vigente ISO/IEC/ IEEE 8005-1

Cable para conexión a puerto

El cable debe ser elegido según la norma ISO/IEC/ IEEE 8005-1:

- El cable debe ser al menos del tipo retardante de llama (IEC 60332-1-2).
- Resistente al aceite, al ambiente marino, al agua salada, a la radiación solar(UV) y no debe ser higroscópico, es decir no debe absorber humedad del medio.
- Al menos 90°C de aislamiento y la temperatura de trabajo no debe superar los 95°C.

Carrete de cable

Según la normativa debe situarse un sistema que permita recoger y estirar el cable sin causar estrés al cable, además debe compensar automáticamente la acción de la marea y el viento, evitando que el cable quede con demasiada holgura o demasiada tensión. Por ello proponemos situar un Carrete AMP de la marca Cavotec, que sobresale hacia los laterales del buque permitiendo que el cable baje de forma vertical sobre el puerto, facilitando las maniobras.



Ilustración 54: Carrete y soporte AMP Reel. Fuente: (28)

El AMPReel es un sistema fijo de cold ironing montado en un chasis y fijo al buque. Esta solución consiste en un sistema de control del cable motorizado y una bobina de cable con rodillos, pero además incluye:

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

- Panel de control electrónico
- Una reductora para el motor
- Un acumulador de fibra óptica
- Conectores y cables
- Una guía pivotante para el cable (28)

Desventajas del cold ironing:

- Alta inversión inicial en buque existente
- Variación del precio por consumo eléctrico según acuerdos y puertos
- Conexiones, voltajes y frecuencias poco estandarizadas a nivel mundial
- Alta probabilidad de que la electricidad consumida siga contaminando, aunque no sea en el puerto

Ventajas del cold ironing:

- Ahorro de combustible
- Ahorro en mantenimiento
- Tiempo en puerto para mantenimiento sin motores auxiliares en marcha
- Disminución de emisiones
- Disminución de vibraciones
- Disminución de ruido
- Ventajas en tasas de puerto y consumo eléctrico
- Posibilidad de que la energía consumida sea 100% renovable según la forma en que la compañía eléctrica la genere.
- Aumento del valor del buque
- Posibilidad de cambios de ruta para aumentar los beneficios
- Facilidad de implantación en buques de nueva construcción
- Cumplimiento de normativas anticontaminantes en puerto

VI.CONCLUSIONES

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

VI.CONCLUSIONES:

- Hemos podido identificar los distintos sistemas de cold ironing existentes en la actualidad tanto en buque como en puerto.
- Hemos podido ver los puntos fuertes y los puntos débiles de estos sistemas.
- Hemos plasmado en el capítulo de resultados qué actuaciones tendría que hacer un buque con-ro actual (Marco referencial) Para poder aplicar el sistema de cold ironing en función a la normativa y a los puertos visitados.
- Hemos conseguido desarrollar una adaptación del buque para posibilitar el uso de cold ironing en él.
- Hemos analizado las normativas que afectan al cold ironing.
- Hemos comparado las diferentes empresas que llevan a cabo este tipo de instalaciones.
- Hemos conocido parte del sistema eléctrico del buque y la forma actual de conexión a tierra.
- Hemos propuesto una solución para cumplir las diferentes normativas de contaminación en puerto.

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO "COLD IRONING"

VII.BIBLIOGRAFÍA

SUMINISTRO ELÉCTRICO PARA BUQUES AMARRADOS A PUERTO “COLD IRONING”

VII.BIBLIOGRAFÍA:

1. **Innovalabs.** OPS ¿Qué es y por qué en puertos? [En línea] 26 de Enero de 2017. <http://innovalabs.es/es/ops-what-is-it-and-why-ports-should-have-it/>.
2. **maritime-executive.** *www.maritime-executive.com.* [En línea]
3. **Innovalabs.** Las 5 ventajas de la conexión OPS (On Shore Power supply). [En línea] 28 de Febrero de 2018. <http://innovalabs.es/es/las-5-ventajas-la-conexion-ops-onshore-power-supply/>.
4. **Sánchez, Carlos.** Electricidad y puertos, un futuro común: el «Cold Ironing». [En línea] Energy news, 26 de Septiembre de 2016. <https://www.energynews.es/electricidad-y-puertos-un-futuro-comun-el-cold-ironing/>.
5. **shipspotting.** *www.shipspotting.com.* [En línea]
6. **Christian Gómez; Sertrans.** Tipos de buques para el transporte internacional de mercancías. [En línea] 30 de Mayo de 2018. <https://www.sertrans.es/transporte-maritimo/que-tipos-de-buques-existen-en-el-transporte-maritimo/>.
7. **prensa.com.** [En línea] <https://www.prensa.com>.
8. **Siemens AG.** *SIHARBOR/SIPLINK: soluciones inteligentes de media tensión para buques atracados.* Erlangen : s.n., 2011.
9. **menorca.info.** *www.menorca.info.com.* [En línea]
10. **DKV Seguros.** Ecodes. *Contaminación atmosférica y salud.* [En línea] 2010. <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes>.

11. PRTR (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes) España. NOX (Óxidos de nitrógeno). [En línea] Noviembre de 2007. <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidados-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>.
12. barcosyatesveleros. <http://www.barcosyatesveleros.com>. [En línea]
13. PRTR (Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes) España. SOX (Óxidos de azufre). [En línea] Noviembre de 2007. <http://www.prtr-es.es/SOx-oxidados-de-azufre,15598,11,2007.html>.
14. España, PRTR(Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes). Partículas PM10. [En línea] Noviembre de 2007. <http://www.prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007.html>.
15. Bañón Serrano, Patricia Isabel; Blanco Monge, Sara ; Puertos del Estado. *Guía de gestión energética en puertos*.
16. BOE. *Directiva 2014/94/UE del parlamento europeo y del consejo de 22 de octubre de 2014*. 2014.
17. —. *Directiva 2012/33/UE Del parlamento europeo y del consejo de 21 de noviembre de 2012*. 2012.
18. MARPOL. marinegyaan. [En línea] <http://marinegyaan.com>.
19. Sanes, Sergi Espinosa. *Design of a shore power system for Barcelona´s cruise piers: Cruise pollution study, rules analysis, design and simulation*. Barcelona : s.n., 2015.
20. Agarwal, Mayur. Marineinsight. [En línea] Junio de 2019. <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/>.
21. dcvelocity. [En línea] <https://www.dcvelocity.com>.
22. *"Cold Ironing": Tomas de tierra en los puertos para la alimentación eléctrica de los buques*. Villa Caro, Raúl; De la Puente Del Pozo, Luis; Ministerio de defensa. s.l. : Ministerio de defensa, Diciembre de 2017, Boletín técnico de ingeniería.

23. Cruisehabit. <https://www.cruisehabit.com>. [En línea]

24. Ericsson, Patrik; Fazlagic', Ismir; ABB, Chalmers. *Shore side power supply: A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port*. Göteborg : Chalmers university of technology, 2008.

25. Enrique Dans- GDPR. [En línea] <https://www.enriquedans.com>.

26. cold ironing requirements. [En línea] <http://www.coldironing.us>.

27. Deif. [En línea] www.deif.es.

28. Cavotec. [En línea] www.cavotec.com.

29. Directindustry. www.Directindustry.com. [En línea]

31. nuestromar.org. [En línea] <http://www.nuestromar.org>.