



UNIVERSIDADE
DA CORUÑA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

SISTEMA SHORE-TO-SHIP PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO A BUQUES MERCANTES

MÁSTER EN INGENIERÍA MARINA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

JUNIO-2019

AUTOR: CARLOS SENÍN SENÍN

DIRECTOR: FELIPE ANTELO GONZÁLEZ

TÍTULO

**SISTEMA SHORE-TO-SHIP PARA
SUMINISTRO ELÉCTRICO A
BUQUES MERCANTES**

**SISTEMA SHORE-TO-SHIP PARA
SUMINISTRO ELÉCTRICO A
BUQUES MERCANTES**

**SHORE-TO-SHIP SYSTEM FOR
ELECTRIC POWER SUPPLY TO
MERCHANT VESSELS**

RESUMEN

Las emisiones de gases contaminantes procedentes de los motores de los buques mercantes en puerto son un problema para el medioambiente y salud de las personas en zonas cercanas a los puertos. Ante esta situación las autoridades marítimas, autoridades políticas internacionales, nacionales y locales establecen normativas con el calendario diseñado para la adaptación de los buques mercantes.

Existen múltiples opciones para la reducción de las emisiones de gases contaminantes por eso es imprescindible conocerlas para analizar su desarrollo, rentabilidad y logística desde el punto de vista técnico y económico.

La desconexión de los generadores auxiliares de corriente eléctrica y por tanto la conexión del buque mercante a suministro eléctrico desde tierra es una opción atractiva y bien considerada por la sociedad, la variedad en la flota internacional de buques mercantes y las características diversas de las instalaciones portuarias hacen que esta tecnología sea analizada caso por caso por armadores, departamentos técnicos y autoridades portuarias.

RESUMO

As emisións de gases contaminantes procedentes dos motores dos buques mercantes no porto son un problema para o medioambiente e saúde das persoas nas zonas cercanas ós portos. Ante esta situación as autoridades marítimas, autoridades políticas internacionais, nacionais e locais establecen normativas cun calendario deseñado para a adaptación dos buques mercantes.

Existen múltiples opcións para a redución das emisións de gases contaminantes por iso é imprescindible coñecerlos para a súa análise e desénrolo, rentabilidade e loxística dende o punto de vista técnico e económico.

A desconexión dos xeradores auxiliares de corrente eléctrica e por tanto a conexión do buque mercante ó suministro eléctrico dende terra é unha opción atractiva e ben considerada pola sociedade, a variedade na flota internacional de buques mercantes e as características diversas das instalacións portuarias fan que esta tecnoloxía sea analizada caso por caso por armadores, departamentos técnicos e autoridades portuarias.

ABSTRACT

The emissions of polluting gases from engines of merchant ships in port are a problem for environment and health of people in areas near the ports. Faced with this situation, maritime authorities, international, national and local political authorities establish regulations with the calendar designed for adaption to merchant ships.

There are multiple options for reduction of pollution gas emissions, with is why it is essential to know them in order to analyze their development, profitability and logistics from a technical and economic point of view.

The disconnection of the auxiliary diesel generators and therefore the connection of merchant ship to electricity supply on shore is an attractive and well-considered option by society, the variety in the international fleet of merchant ships the diverse characteristics of port facilities. Make this technology analyzed on a case-by-case basis by ship owners, technical departments and port.

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	I
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES	XI
GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	XII
OBJETO	XIV
MEMORIA.....	1
1 INTRODUCCIÓN	1
2 LEGISLACIÓN SOBRE EMISIONES EN PUERTO	3
2.1 Zonas SECA.....	4
2.2 Normativa Europea.....	5
2.3 Índice de Eficiencia Energética	6
2.4 Regulación MARPOL sobre emisiones NOx	7
2.5 El certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP)	8
3 FINANCIACIÓN Y SUBVENCIONES EN ESPAÑA	10
4 NECESIDAD ENERGÉTICA DE BUQUES MERCANTES EN PUERTO.....	11
4.1 Potencia eléctrica estimada para los buques mercantes en puerto	11
4.2 Necesidades de consumo eléctrico de un buque convencional	12
4.3 Diferentes tensiones eléctricas en buques mercantes	13

4.4	Consumo de combustible y factor de uso de generadores en puerto	13
4.5	Consumo de combustible y estancia en puerto en función del arqueo	14
4.6	Consumo combustible para electricidad en función del tiempo y arqueo .	15
5	MÉTODOS PARA REDUCIR EMISIONES DE NO_x	16
5.1	Inyección directa de agua en la cámara de combustión (DWI)	16
5.2	Inyección directa de emulsión de combustible y agua (WFE)	16
5.3	Recirculación de gases de escape (EGR).....	18
5.4	Inyección de agua en el aire de admisión (HAM)	18
5.5	Combustión con bajo contenido en aire	18
5.6	Resumen de las tecnologías precombustión para reducción de NO _x	19
5.7	Reducción catalítica selectiva (SCR).....	20
5.8	Reducción catalítica no selectiva (SNCR)	21
6	MÉTODOS PARA LA REDUCCIÓN DE SO_x	21
6.1	Clasificación de los combustibles líquidos según el contenido en azufre.	21
6.2	Lavado de gases	21
7	CONFIGURACIONES TÍPICAS DE SHORE-TO-SHIP	23
7.1	La frecuencia eléctrica en el mundo	23
7.2	La frecuencia eléctrica en los buques mercantes.....	24
7.3	Configuraciones más comunes de Shore-To-Ship	24
7.4	Conexiones entre el buque y el suministrador eléctrico	25
8	REDUCCIÓN DE EMISIONES AL UTILIZAR SHORE-TO-SHIP	29
9	CASO PRÁCTICO: PUERTO DE LOS ANGELES (EE.UU.)	31
9.1	Descripción del puerto de Los Ángeles	31
9.2	Emisiones de NO _x en el puerto de Los Ángeles	33
9.3	Estudio de emisiones contaminantes en el puerto de Los Ángeles.....	34
9.4	Reducciones anuales de emisiones contaminantes	42
9.5	Cálculo de emisiones de CO ₂ utilizando otros combustibles fósiles.....	44
9.6	Emisiones de NO _x y SO _x en STS con gas natural con ciclo combinado .	48

9.7	Origen de la producción eléctrica en España	51
10	CASO PRÁCTICO: BUQUE TIPO ROLL ON ROLL OFF.....	52
10.1	Descripción del buque Ro-Ro.....	52
10.2	Descripción del proyecto	53
10.3	Características de la unidad de generación	56
10.3.1	Generador de energía eléctrica	56
10.3.2	Unidad de almacenamiento y gasificación de GNL	58
	CONCLUSIONES	61
	REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Composición de gases de combustión en motores diesel marinos	3
Figura 2.1.1 - % S de combustibles por año en la revisión del MARPOL Annex VI	4
Figura 2.1.2 - Zonas ECA alrededor del mundo.....	5
Figura 2.3.1 - Relación de emisiones CO ₂ respecto arqueo y millas recorridas.....	6
Figura 2.4.1 - Regulación de emisiones según IMO en función de velocidad giro..	8
Figura 2.5.1 - Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación Atmosférica de Motores	9
Figura 3.1 - Sistema Shore-Box™ de la casa Schneider Electric Marine.....	10
Figura 5.1. Diagrama de tecnologías para la reducción de NOx.....	16
Figura 5.1.1 - Inyección Directa de Agua (DWI) para reducción de NOx	17
Figura 5.2.1 - Combustión de emulsión agua-combustible para reducir NOx	17
Figura 5.3.1 – Sistema de recirculación de gases para reducción de NOx	18
Figura 5.4.1 – Inyección agua en aire admisión (HAM) para reducción de NOx...	19
Figura 5.8.1 - Reducción catalítica selectiva (SCR) para la reducción de NOx	20
Figura 6.2.1 - Métodos de lavado de gases para la reducción de SOx.....	22
Figura 6.2.2 - Torre de lavado de gases para la reducción de SOx.....	22
Figura 6.2.3 – Ubicación en buque de torre de lavado para reducción de SOx	23
Figura 7.1.1 – Distribución de la frecuencia eléctrica a nivel mundial	23
Figura 7.3.1 – Configuración Shore-To-Ship convencional.....	25
Figura 7.4.1 – Conexión Shore-To-Ship con barcaza	25
Figura 7.4.2 - Conexión Shore-To-Ship integrada en buque.....	26
Figura 7.4.3 - Conexión Shore-To-Ship en contenedor fijo	26

Figura 7.4.4- Conexión Shore-To-Ship integrada en el muelle	27
Figura 7.4.5- Cables de conexión Shore-To-Ship en el muelle	28
Figura 7.4.6 - Transformador para conexión Shore-To-Ship en el buque	28
Figura 9.1.1 - Vista aérea del puerto de Los Ángeles que cuenta con STS	32
Figura 9.3.1 - Gráfico del coste anual sienergía se genera a bordo o sea STS	36
Figura 9.3.2 - Toneladas anuales de NOx según se genere con MM.AA o STS ..	39
Figura 9.3.3 - Toneladas anuales de SOx según se genere con MM.AA o STS...	39
Figura 9.3.4 - Toneladas anuales de VOC según se genere con MM.AA o STS..	41
Figura 9.3.5 - Toneladas anuales de PM según se genere con MM.AA o STS	42
Figura 9.5.1 - Emisiones anuales de CO ₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque VICTORIA BRIDGE (portacontenedores).....	46
Figura 9.5.2 - Emisiones anuales de CO ₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque HANFIN PARIS (portacontenedores)	46
Figura 9.5.3 - Emisiones anuales de CO ₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque CHIQUITA JOY (frigorífico)	47
Figura 9.5.4 - Emisiones anuales de CO ₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque ALASKAN FRONTIEN (buque tanque)	47
Figura 9.5.5 - Emisiones anuales de CO ₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque ANSAC HARMONY (Ro-Ro)	48
Figura 9.5.6 - Emisiones anuales de CO ₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque ANSAC HARMONY (Ro-Ro)	48
Figura 9.6.1. Emisiones de NOx anuales en STS en Los Ángeles con GN	49
Figura 9.6.2. Emisiones de SOx anuales en STS en Los Ángeles con GN	50
Figura 9.7.1 – Distribución de la producción eléctrica España según la fuente	51
Figura 10.2.1 - Esquema de proyecto suministro de corriente a buque de tierra ..	54
Figura 10.2.2 – Ubicación del transformador 11 kV - 400 V para el sistema STS.	54

Figura 10.2.3 - Plano del proyecto de suministro de corriente a buque de tierra ..	55
Figura 10.3.1.1 - Vista del exterior del contenedor del generador.....	56
Figura 10.3.1.2 - Vista del interior del contenedor del generador eléctrico	57
Figura 10.3.2.1 - Vista exterior del contenedor de GNL-GN de la casa HAM	58
Figura 10.3.2.2 - Disposición del contenedor de GNL-GN de la casa HAM.....	58
Figura 10.3.2.3 – Cuadro de sincronismo y acoplamiento con pantalla táctil.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.2. Emisiones CO ₂ en millones de toneladas	7
Tabla 2.4.1. Regulación de emisiones según IMO en función de velocidad giro ...	8
Tabla 4.1.1. Potencia eléctrica estimada para cada clase de buque	12
Tabla 4.2.1. Potencia eléctrica estimada para cada clase de buque	12
Tabla 4.3.1. Valores típicos de tensión eléctrica para cada clase de buque	13
Tabla 4.4.1. Valores de factor de utilización y consumo específico “en puerto”	14
Tabla 4.5.1. Valores de consumo y estancia “en puerto” en función del arqueo...	15
Tabla 4.6.1. Consumo MGO en puerto en función de la estancia y arqueo	15
Tabla 5.6.1. Resumen comparativo de tecnologías para la reducción de NOx.....	20
Tabla 7.2.1 – Distribución de la frecuencia eléctrica en buques mercantes.....	24
Tabla 8.1. Emisiones a la atmósfera para generar 1 kWh según suministro	29
Tabla 8.2. Emisiones a la atmósfera para generar 1 kWh según combustible.....	29
Tabla 8.3. Emisiones a atmósfera para generar 1 kWh según tamaño de motor..	30
Tabla 8.4.1. Valores de factor de utilización y consumo específico “en puerto”	31
Tabla 9.1.1. Utilización del STS del puerto de Los Ángeles según navieras	33

Tabla 9.2.1. Emisiones de NOx en el puerto de Los Ángeles por equipo y modo.	34
Tabla 9.3.1. Energía generada en el puerto de Los Ángeles por edad buque	34
Tabla 9.3.2. Coste anual de energía en puerto de Los Ángeles varios buques	35
Tabla 9.3.3. Ahorro anual según la energía se genera a bordo o sea STS	36
Tabla 9.3.4. Emisiones en el puerto de Los Ángeles con MM.AA. y con STS	37
Tabla 9.3.5. Toneladas anuales de NOx según se genere con MM.AA o STS	38
Tabla 9.3.6. Toneladas anuales de SOx según se genere con MM.AA o STS	38
Tabla 9.3.7. Toneladas anuales de VOC según se genere con MM.AA o STS	40
Tabla 9.3.8. Toneladas anuales de PM según se genere con MM.AA o STS.....	41
Tabla 9.4.1. Reducción de emisiones NOx y eficiencia STS frente a MM.AA.....	42
Tabla 9.4.2. Reducción de emisiones SOx y eficiencia STS frente a MM.AA.....	43
Tabla 9.4.3. Reducción de emisiones VOC y eficiencia STS frente a MM.AA	43
Tabla 9.4.4. Reducción de emisiones PM y eficiencia STS frente a MM.AA	44
Tabla 9.5.1. Emisiones de CO ₂ en la generación de 1 kWh según combustible...44	
Tabla 9.5.2. Emisiones CO ₂ anuales en STS en Los Ángeles por combustible45	
Tabla 9.6.1. Emisiones de NOx a anuales en STS en Los Ángeles con GN	49
Tabla 9.6.2. Emisiones de SOx anuales en STS en Los Ángeles con GN.....	50
Tabla 10.1.1 – Especificaciones del buque Ro-Ro del proyecto EPT1	52
Tabla 10.3.1.1 - Especificaciones del contenedor del generador.....	56
Tabla 10.3.1.2 - Especificaciones del generador eléctrico	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 9.3.1. Coste eléctrico anual en puerto	35
Ecuación 9.3.2. Coste anual si se genera a bordo con MGO	35
Ecuación 9.3.3. Coste anual si se suministra con STS	35
Ecuación 9.3.4. Toneladas anuales de NOx generadas por los MM.AA	37
Ecuación 9.3.5. Toneladas anuales de NOx generadas con STS.....	37
Ecuación 9.3.6. Toneladas anuales de SOx generadas por los MM.AA	37
Ecuación 9.3.7. Toneladas anuales de SOx generadas con STS.....	37
Ecuación 9.3.8. Toneladas anuales de VOC generadas por los MM.AA	39
Ecuación 9.3.9. Toneladas anuales de PM generadas por los MM.AA.....	39
Ecuación 9.3.10. Toneladas anuales de VOC generadas con STS	40
Ecuación 9.3.11. Toneladas anuales de PM generadas con STS	40
Ecuación 9.5.2. Emisiones CO2 anuales en toneladas.....	45

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

- AMP:** Alternative Maritime Power (Energía Alternativa en aplicación Marítima)
- STS:** Shore-To-Ship (Suministro de energía eléctrica de tierra a buque)
- EEDI:** Energy Efficiency Design Index (Índice Eficiencia Energética Proyecto)
- EEOI:** Energy Efficiency Operation Index (Índice Operacional Efic. Energética)
- SEEMP:** Plan de gestión de la eficiencia energética del buque
- GRT:** Gross Register Tonnage (Toneladas de Registro Bruto)
- LNG:** Liquefied Natural Gas (Gas Natural Licuado)
- CNG:** Compressed Natural Gas (Gas Natural Comprimido)
- GNL:** Gas Natural Licuado
- HFO:** Heavy Fuel Oil (Fueloil Pesado)
- MDO:** Marine Diesel Oil (Dieseloil Marino)
- MGO:** Marine Gas Oil (Gasoil Marino)
- IMO:** International Maritime Organization (Organización Marítima Internacional)
- OPS:** Onshore Power Supply (Suministro de Energía de Tierra)
- PM:** Particulate Matter (Materia Particulada)
- ECA:** Emission Control Area (Área con Control de Emisiones)
- SECA:** Sulphur Emission Control Area (Área con control de emisiones sulfurosas)
- VOC:** Volatile Organic Compound (Compuestos Orgánicos Volátiles)
- COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles
- WPCI:** World Ports Climate Initiative (Iniciativa de control de climático en puertos)

GHG: Green House Gases (Gases de efecto invernadero)

GEI: Gases de Efecto Invernadero

SOx: Óxidos de Azufre (SO₂, SO₃)

NOx: Óxidos de Nitrógeno (NO₂, NO₃)

EIAPP: Engine International Air Pollution Prevention (Certificado)

OPS: Onshore Power Supply (Suministro de Energía Eléctrica de Tierra)

CEF: Connecting Europe Facility (Instalación Europea de Interconexión)

OPPE: Organismo Público Puertos del Estado

DWI: Direct Water Injection (Inyección Directa de Agua)

HAM: Humid Air Motor (Motor de Aire Húmedo)

WFE: Water Fuel Emulsion (Emulsión de Agua y Combustible)

SCR: Selective Catalytic Reactor (Reactor Catalítico Selectivo)

SNCR: Selective Non-Catalytic Reactor (Reactor Selectivo NoCatalítico)

DPF: Diesel Particulate Filter (Filtro de Partículas Diésel)

EGR: Exhaust Gas Recirculation (Recirculación de Gases de Escape)

MM.AA: Motores Auxiliares (Generadores diesel-eléctricos)

SOLAS: Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar

MARPOL: Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques

STCW: Convenio internacional sobre normas de formación, titulación y guardia para la gente de mar

OBJETO

El objeto de este Trabajo de Fin de Máster es describir la tecnología utilizada para la reducción de emisiones de gases contaminantes en un puerto español con la tecnología shore-to-ship (STS) para buques de caga rodada consiguiendo que éste sea más respetuoso con el medio ambiente y, tal vez, más económico.

Mientras no se evolucione lo suficiente una alternativa a los combustibles fósiles habrá que convivir con la tecnología disponible. Si se consigue optimizar la tecnología actual haciéndola más respetuosa con el medioambiente sin variar el resultado final se estará obteniendo un buen beneficio que, en el caso de añadir la eficiencia energética a la operación se puede conseguir un triple beneficio:

- Reducción de contaminantes emitidos
- Reducción de costes de explotación del buque
- Reducción de la velocidad de desaparición de los combustibles fósiles

El trabajo está basado en la experiencia del autor en un puerto español que ha permitido la obtención de datos reales en operación. Por otra parte, su participación como Oficial de Máquinas en la adaptación de un buque para este sistema, también en España, le ha permitido una gran implicación y conocimiento pormenorizado del proceso.

MEMORIA

1 INTRODUCCIÓN

Aproximadamente existen 30.000 buques mercantes de por lo menos 1.000 toneladas en el mundo y 5.900 puertos comerciales de ellos 2.100 en Europa. También hay que tener en cuenta los buques crucero que aumentan en número, capacidad y tráfico, pues las emisiones producidas por éstos preocupan a autoridades y armadores respecto a la calidad del aire en las ciudades, puertos y zonas urbanas.

La regulación de la polución atmosférica debida al transporte marítimo mundial representa gran dificultad. Se estima que en el año 2025 el volumen del comercio mundial marítimo será el triple que en el año 2008. Se puede comparar a un buque “en puerto” como una planta de generación eléctrica flotante y por consiguiente las emisiones producidas por éste, deben estar sometidas a regulación.

La generación eléctrica en los buques normalmente “*en puerto*” se realiza mediante generadores auxiliares que consumen gasoil marino (MGO), que contiene más azufre que la gasolina que utilizan los automóviles. Por este motivo, se considera a los buques los grandes causantes de la contaminación en las ciudades de la Unión Europea.

Una medida para reducir las emisiones en los puertos que generalmente están situados cerca de poblaciones es conectar el buque a la red eléctrica de tierra que está producida en muchas ocasiones con tecnologías renovables y sostenibles. A este procedimiento se le denomina técnicamente “Shore-To-Ship”^[31] aunque es más conocido en el sector por “Cold Ironing”^[24] o “Alternative Marine Power”^[20].

La estancia de los buques “*en puerto*” es variable dependiendo de las características del buque y de su modo de explotación en las líneas comerciales como también lo es la energía eléctrica para carga y descarga necesaria. Desde 2010 los buques deben consumir combustibles con contenido de azufre por debajo de 0,1% en masa puesto que de ello dependen los SOx emitidos.

Los compuestos de los gases de escape más importantes son:

- **Óxidos de nitrógeno (NOx):** son compuestos químicos binarios formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. Se forman en la combustión a altas temperaturas de los motores diesel. Su presencia en la atmósfera conlleva problemas respiratorios y puede provocar lluvia ácida.
- **Gases de efecto invernadero (GEI):** principalmente es el CO₂ formado por la combustión de combustibles fósiles como son el gasoil, el dieseloil y el fueloil. Sus efectos nocivos tienen lugar a gran distancia por esta razón no se les considera contaminantes. Tienen efecto por acumulación en las capas altas de la atmósfera provocando cambio climático
- **Óxidos de azufre (SOx):** son muy contaminantes. Se originan por la combustión de combustibles que contienen azufre. Causa afecciones pulmonares, alteración del metabolismo de las proteínas, daña al ecosistema e incluso pueden afectar a edificaciones produciendo acidificaciones. También provocan lluvias ácidas más dañinas cuando se depositan en suelos de naturaleza ácida, como sucede en el norte de Europa. En la zona sur de Europa los suelos son de naturaleza básica.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** son compuestos orgánicos liberados en la manipulación, trasiego y combustión de combustibles fósiles. Tienen efectos adversos para la salud: irritación de ojos, garganta, náuseas dolor de cabeza, etc.
- **Materia particulada (PM):** son pequeñas partículas que están asociadas al hollín y a las cenizas. Se consideran gases contaminantes, contribuyen a problemas respiratorios, al fallecimiento prematuro de personas que padecen enfermedades respiratorias y al aumento de asma infantil.

Como se representa en el gráfico de la figura 1.1 la composición de las emisiones gaseosas de los motores que consumen combustible diésel según MAN-B&W ^[32]: N₂ 67 %, CO₂ 12 %, H₂O 11 %, O₂ 9 %, SO₂ 0,09 %, PM 0,18 %, HC 0,09 %, NOx 0,45 % y CO 0,18 %

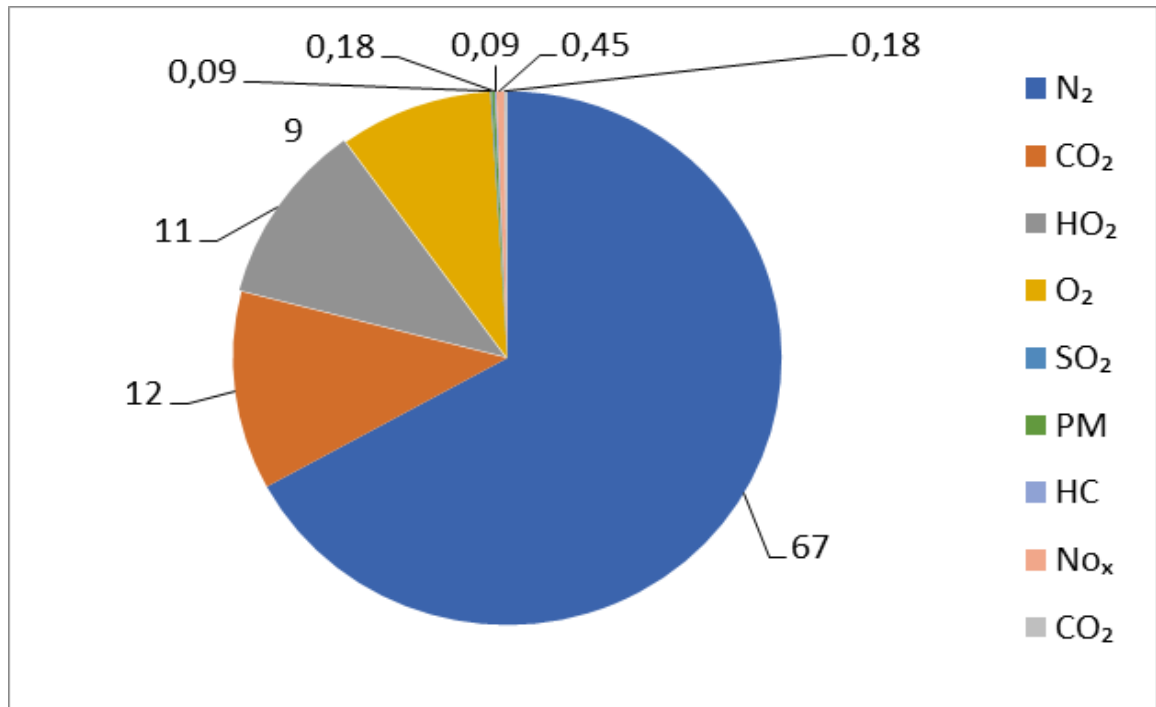


Figura 1.1 - Composición de gases de combustión en motores diesel marinos
Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de MAN-B&W

Los barcos de nueva construcción tienen equipos para la reducción de emisiones pero los buques existentes deben adaptarse a las nuevas normativas. Los armadores deben estudiar y realizar adaptaciones para cumplir las nuevas normativas, hay que reducir emisiones de manera más rentable y eficiente analizando tipo de buque, navegación, puertos y edad del barco.

2 LEGISLACIÓN SOBRE EMISIONES EN PUERTO

En el anexo VI del convenio internacional MARPOL (Convenio internacional para prevenir la contaminación de los buques) que fue adoptado por la OMI (Organización Marítima Internacional) en 1997 entrando en vigor en mayo de 2005 se recoge la regulación internacional de las emisiones a la atmósfera de gases contaminantes. Debido a la demora en su aplicación fueron consideradas desfasadas y en 2008 se estableció un calendario para el endurecimiento progresivo e importantes exigencias que se ve en el siguiente gráfico de la figura 2.1.1, para el cumplimiento de emisiones de SO_x.

2.1 Zonas SECA

Las Zonas de Control de Emisiones de Azufre (SECA por sus siglas en inglés) son aquéllas que por tener entornos ácidos o elevados niveles de población costera o elevados niveles de tráfico marítimo se consideran especialmente sensibles. En estas zonas el límite de contenido de azufre de los combustibles marinos ha de ser mucho más bajo como se puede ver en la figura 2.1.1. Estas zonas europeas son:

- **Mar Báltico** - Anexo I del Convenio MARPOL (sólo para SO_x)
- **Mar del Norte** - Anexo V del Convenio MARPOL (sólo para SO_x)
- **Canal de la Mancha**

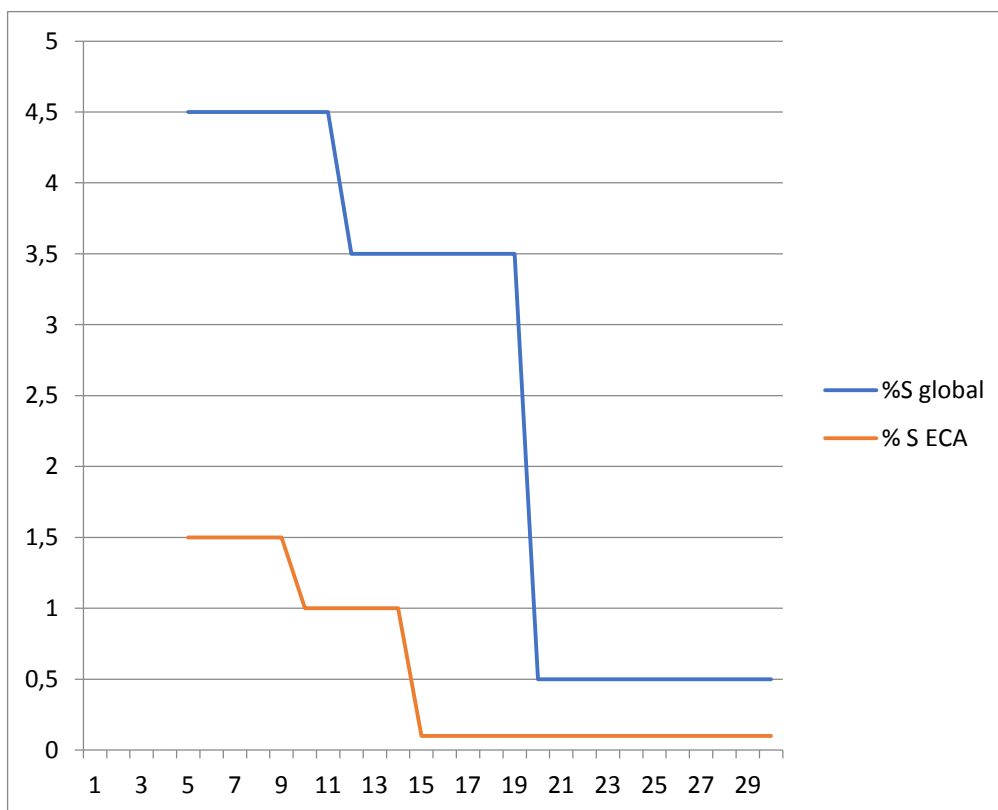


Figura 2.1.1 - % de S de combustibles marinos por año en la revisión del anexo VI de MARPOL
Fuente: Elaboración Propia con datos de IMO

En marzo de 2010 Estados Unidos y Canadá presentaron una propuesta de zonas (ECA) que son áreas de control de emisiones de SO_x y NO_x para sus costas y hasta 200 millas entrando en vigor en 2012. Estas zonas son:

- **Estados Unidos**
- **Islas Vírgenes**
- **Hawai**
- **Puerto Rico**

y entraron en vigor 1 de enero de 2014 tal como se define en el Apéndice VII del Anexo VI del Convenio MARPOL (SO_x, NO_x y PM)

Los buques utilizan mayoritariamente dos tipos de combustibles: fueloil pesado (HFO) y gasoil marino (MGO), el gasoil es un 50% más caro y se limita su utilización a necesidades concretas de operación o normativas. En las zonas SECAs los buques deben consumir gasoil de muy bajo contenido en azufre 0,1%. En la siguiente ilustración 2.1.2 se recoge la distribución de las zonas SECAs alrededor del mundo.

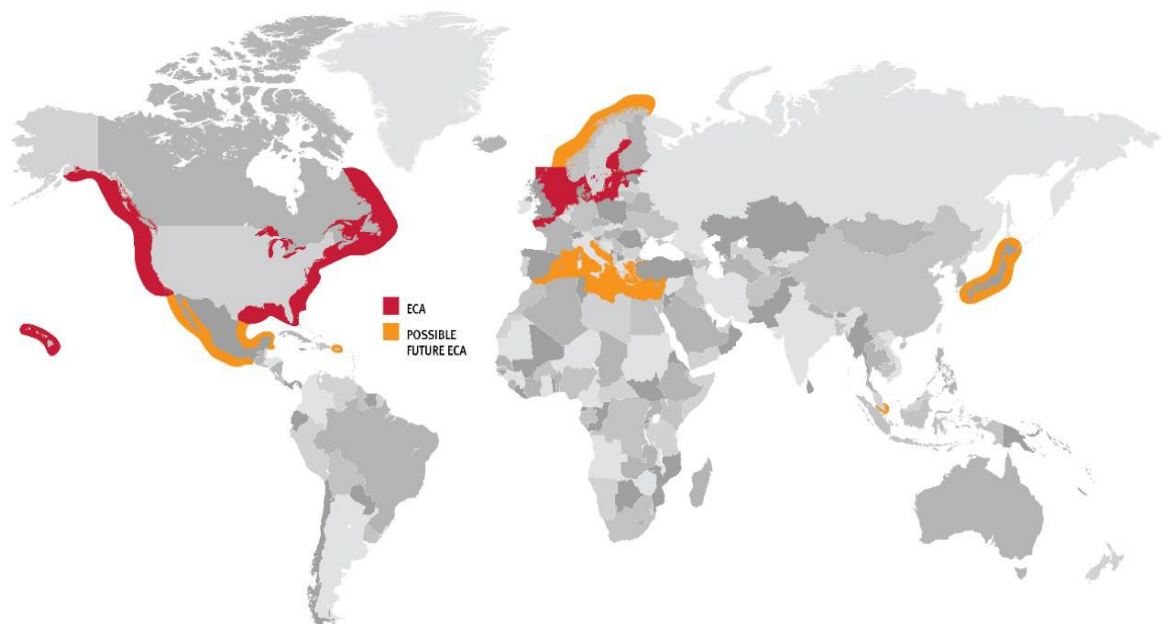


Figura 2.1.2 - Zonas ECA alrededor del mundo
Fuente: Seatrade Maritime News^[33]

2.2 Normativa Europea

La Unión Europea mediante la normativa 2005/33 exige desde 1 de enero de 2010 a todos los buques deben utilizar durante su estancia en puerto combustible con un máximo de 0,1 % de azufre. La directiva 2005/33 de la Unión Europea va

más allá de las exigencias del anexo VI MARPOL y limita al 1,5 % de contenido de azufre del combustible para los buques de pasaje que presten servicios regulares con puertos de la Unión Europea, en navegación por las aguas territoriales y zona exclusiva de estado UE.

2.3 Índice de Eficiencia Energética

Para las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG), de los cuales el principal es el CO₂ en 2011 la IMO adoptó medidas para reducir éstos en el capítulo IV del anexo VI. Estas medidas de obligado cumplimiento hacen hincapié en el Energy Efficiency Design Index (EEDI) para buques nuevos y en el Energy Efficiency Operation Index (EEOI) para buques en explotación. Esta regulación que exige a las compañías navieras mejorar la eficiencia y optimización para reducir las emisiones de CO₂.

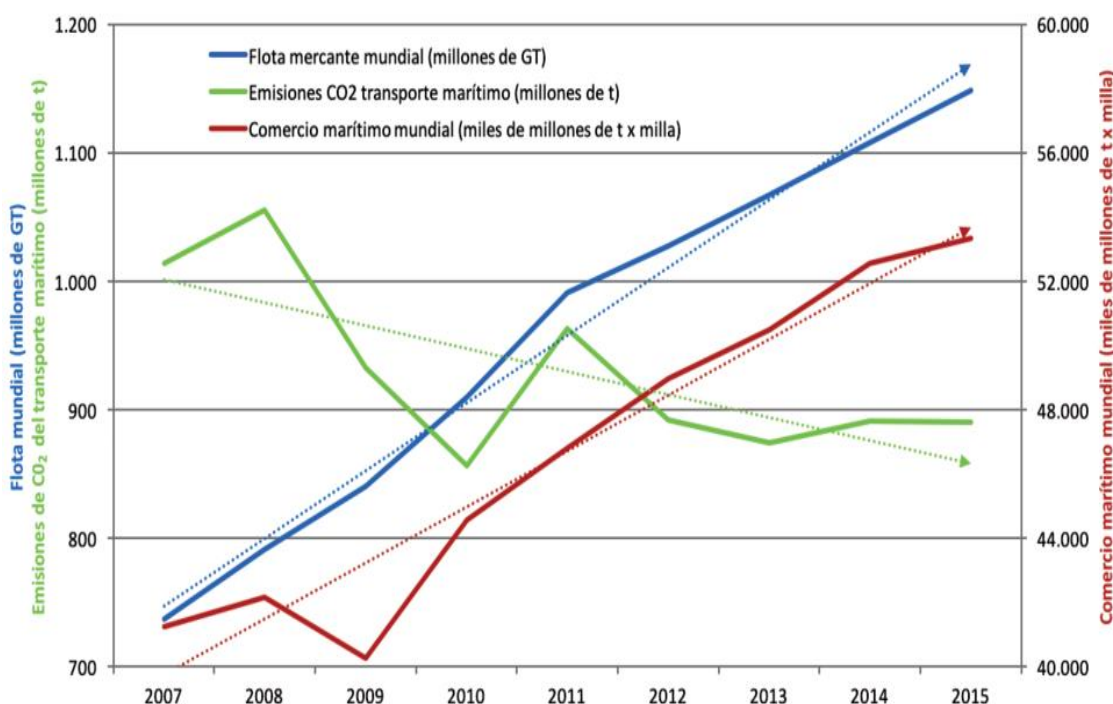


Figura 2.3.1 - Relación de emisiones de CO₂ respecto a arqueos y millas recorridas por la flota
Fuente: ANAVE ^[5]

La importancia de transporte marítimo en la generación de CO₂ respecto a la cantidad de buques y toneladas de mercancía por milla recorrida se ve reflejado en la anterior gráfica de la figura 2.3.1

El índice de eficiencia energética (EEDI) representa las emisiones de los barcos de nueva construcción por milla y tonelada de mercancía transportada respecto al promedio de referencia de buques similares. Su valor tendrá que ser inferior a uno de referencia de los valores EEDI de buques existentes construidos entre 1999 y 2009. Se aplica a buques de más de 400 gross ton (GT) y varía con el tamaño y tipo de buque como se ve en la Tabla 2.3.1.

Emisiones de CO ₂	III ESTUDIO GHG DE LA OMI						ESTUDIO DE ICCT		
	Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Globales	31959	32133	31822	33661	34729	34968	35678	36084	36062
Transporte marítimo internacional	881	916	858	773	853	805	802	813	812
Transporte marítimo nacional	133	138	75	83	110	87	73	78	78
Total emisiones buque	1014	1055	933	856	963	892	874	891	890
% de las emisiones globales	3,2	3,3	2,9	2,5	2,8	2,6	2,5	2,5	2,5

Tabla 2.3.2. Emisiones CO₂ en millones de toneladas
Lloyd's Register Fairplay (flota), Clarkson (Demanda) y los estudios de la OMI GEI 2012 e ICCT.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ANAVE ^[2]

2.4 Regulación MARPOL sobre emisiones NO_x

Las emisiones NO_x se regulan en el anexo VI de MARPOL, es de aplicación a los motores diésel marinos con potencia superior a 130 kW exceptuando los de que accionan grupos electrógenos de emergencia. Los niveles de regulación de la IMO están representados en la gráfica de la figura 2.4.1 y en la tabla 2.4.1:

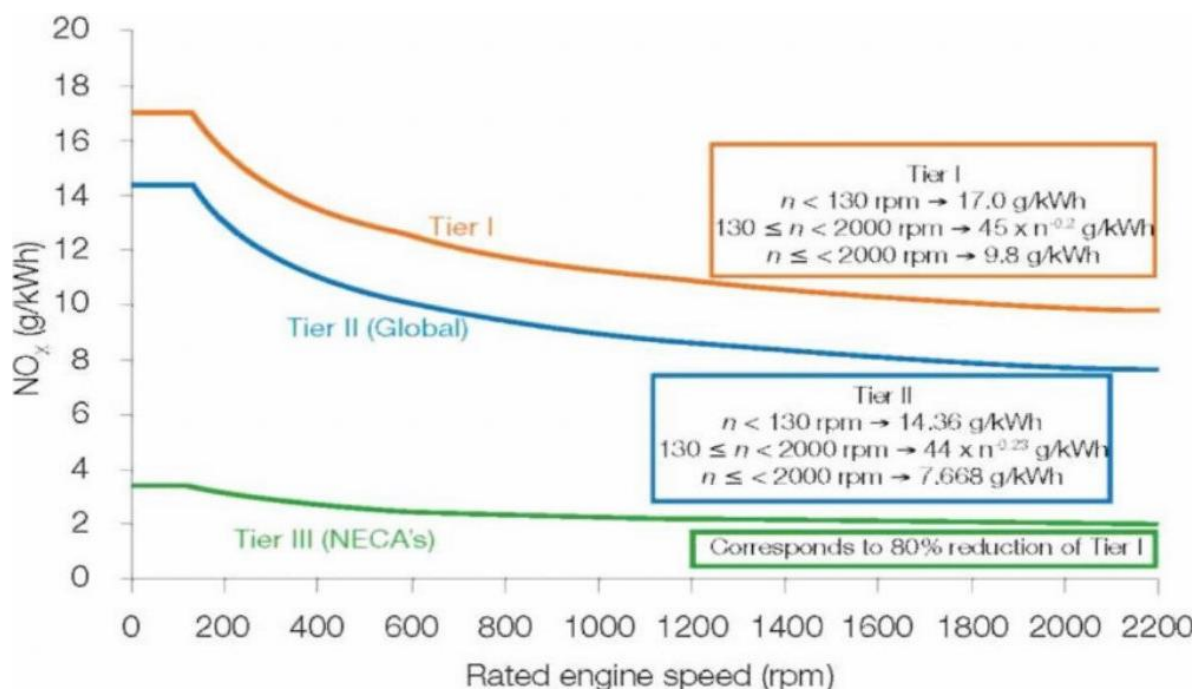


Figura 2.4.1 - Regulación de emisiones según IMO en función de velocidad de giro
Fuente: Mohammad Hanif Dewan ^[34]

Tier	$n < 130$ rpm	$130 \leq n < 2000$ rpm	$n \geq 2000$ rpm
I	17.0 g/kWh	$45.0 \cdot n^{(-0.2)}$ g/kWh	9.8 g/kWh
II	14.4 g/kWh	$44.0 \cdot n^{(-0.2)}$ g/kWh	7.7 g/kWh
III	3.4. g/kWh	$9.0 \cdot n^{(-0.2)}$ g/kWh	2.0 g/kWh

Tabla 2.4.1. Regulación de emisiones según IMO en función de velocidad de giro
Fuente: Mohammad Hanif Dewan ^[34]

Leyenda: n se refiere al régimen nominal del motor en revoluciones por minuto
Valores límite de emisión ponderada total del ciclo NO_x en g/kWh
El nivel I se aplica a buques construidos antes de 1 de enero de 2000
El nivel II se aplica a buques construidos antes de 1 de enero de 2011
El nivel III se aplica a buques construidos antes de 1 de enero de 2016

2.5 El certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP)

Las emisiones de NO_x se controlan mediante el cumplimiento de este certificado de validez internacional que acredita que el motor cumple con los límites de emisiones de NO_x. El certificado EIAPP se representa en la siguiente figura 2.5.1.

3 FINANCIACIÓN Y SUBVENCIONES EN ESPAÑA

El Proyecto "OPS Master Plan for Spanish Ports" tiene como objetivo la redacción de un Plan Director para el suministro de energía eléctrica a buques en atraque en los puertos españoles. "OPS Master Plan for Spanish Ports" se integra en el Marco de Acción Nacional para el desarrollo de infraestructuras para el uso de combustibles alternativos en el sector del transporte en cumplimiento del artículo 13 de la Directiva 2014/94/UE. El OPS Master Plan for Spanish Ports tiene un presupuesto de 6 millones de Euros y está co-financiado con 1,5 millones de Euros por el programa Connecting Europe Facility (CEF) para la construcción de la RET-T de la Unión Europea.

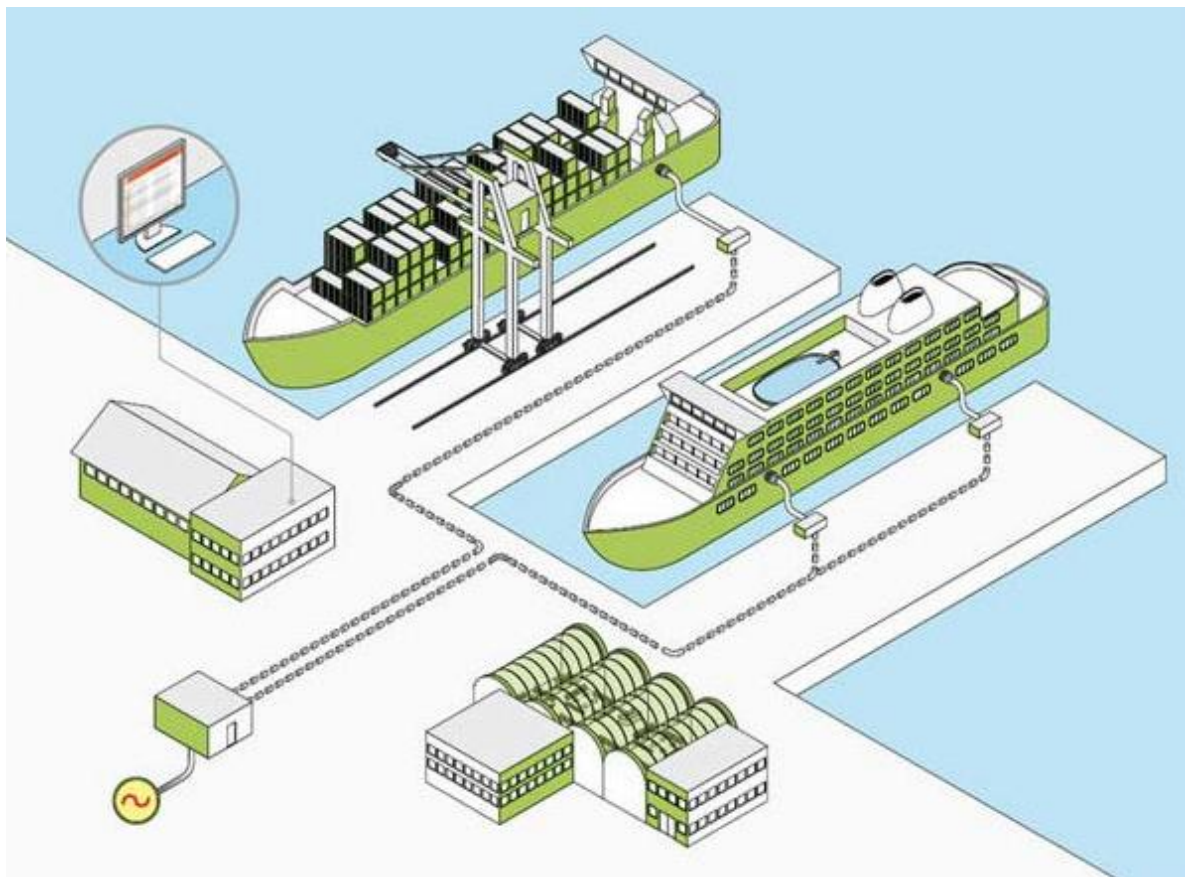


Figura 3.1 - Sistema Shore-Box™ de la casa Schneider Electric Marine
Fuente: Schneider Electric ^[37]

Durante los tres años previstos para la ejecución, el proyecto dotará a los muelles de los elementos electromecánicos necesarios para el suministro de electricidad a buques en varios puertos españoles de interés general, varios buques serán adaptados para poderse conectar a la red eléctrica como muestra al Figura 3.1.

Finalmente el proyecto incluye la realización de estudios sobre la normativa y el impacto medioambiental para identificar las barreras existentes y proponer las medidas oportunas.

El Organismo Público Puertos del Estado (OPPE) está encargado de la coordinación y gestión del proyecto “OPS Master Plan for Spanish Ports”. Además, entre otros trabajos, el OPPE realizará un estudio sobre el marco normativo vigente, para identificar las barreras que impiden el desarrollo del suministro eléctrico a los buques en los puertos, con el objetivo de aportar soluciones para reducir el coste del suministro.

Para mejorar este plan Julio de la Cueva, jefe de área de nuevos servicios portuarios de Puertos del Estado, propuso en las jornadas de Clúster Marítimo Español de junio del 2018 las siguientes medidas (*De la Cueva, 2018*)^[38]:

1. *Bonificación de la tasa portuaria T-1*
2. *La reducción desde el 5% hasta 0,5euros/MWh del impuesto especial sobre electricidad*
3. *Eximir del pago del IVA de la tarifa eléctrica*
4. *Establecer un gestor de las cargas eléctricas de buques atracados*
5. *Permitir que los concesionarios de terminales portuarios puedan suministrar energía eléctrica a los buques*
6. *Eximir el pago del canon de ocupación correspondiente a las canalizaciones de mangueras eléctricas*
7. *Exigir en los concursos de las terminales portuarias la ejecución de las canalizaciones necesarias y el equipamiento para el posible suministro a buques*

4 NECESIDAD ENERGÉTICA DE LOS BUQUES MERCANTES EN PUERTO

4.1 Potencia eléctrica estimada para los buques mercantes en puerto

Los buques en su estancia “*en puerto*” tienen necesidad eléctrica para su operativa de carga-descarga, su seguridad, mantener su operabilidad propulsora y servicio de habilitación-hotel para su tripulación. Esta necesidad varía según tipo de buque que se puede observar en siguiente tabla 4.1.1.

Potencia eléctrica estimada para cada clase de buque	
PORTACONTENEDORES	1 - 4 MW
CRUCERO	7 MW
FRIGORÍFICO	2 - 5 MW
RO-RO	700 kW
BUQUE TANQUE	5 - 6 MW
CARGA GENERAL	300 kW – 1 MW

Tabla 4.1.1. Potencia eléctrica estimada para cada clase de buque
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012)^[19]

4.2 Necesidades de consumo eléctrico de un buque convencional

Un buque convencional en su estancia “*en puerto*” tienen necesidad eléctrica para su operativa de carga-descarga, su seguridad, mantener su capacidad operativa como se distribuye en la tabla 4.2.1 siguiente:

Equipo / Instalación	Consumo
GENERADOR DE EMERGENCIA	110 kW
ALUMBRADO	70 kW
AIRE ACONDICIONADO	112 kW
SERVICIO HOTEL	10 kW
PUFIRICADORAS	23 kW
BOMBAS CONTRA INCENDIOS	26 kW
BOMBAS SENTINAS	26 kW
BOMBAS DE LASTRE	37 kW
VENTILACIÓN SALA DE MÁQUINAS	105 kW
MAQUINILLAS	50 kW
COMPRESORES DE AIRE	110 kW
VENTILACIÓN BODEGAS	20 kW

Tabla 4.2.1. Potencia eléctrica estimada para cada clase de buque
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012)^[19]

4.3 Diferentes tensiones eléctricas en buques mercantes

Los valores típicos de tensión para los buques que atracan en puertos cercanos a las ciudades dependiendo de su tipo quedan reflejados en la siguiente tabla 4.3.1:

Distribución de los buques en función del tipo y de su tensión eléctrica								
% BUQUES	380 V	400 V	440 V	450 V	460 V	6,6 kV	10 kV	11 kV
PORTACONTENEDORES (E < 140 m)	42	16	42	-	-	-	-	-
PORTACONTENEDORES (E > 140 m)	6	79	-	3	-	12	-	-
TOTAL PORTACONTENEDORES	19	6	64	2	-	9	-	-
BUQUES RO-RO	-	30	20	43	7	-	-	-
BUQUES TANQUE	13	-	40	47	-	-	-	-
CRUCEROS (E < 200 m)	14	18	59	9	-	-	-	-
CRUCEROS (E > 200 m)	-	-	12	-	-	48	4	36
TOTAL CRUCEROS	6	9	34	4	-	26	2	19

Tabla 4.3.1. Valores típicos de tensión eléctrica para cada clase de buque
Fuente: Winkel, R. (2015) ^[18]

4.4 Consumo de combustible y factor de uso de generadores en puerto

El consumo de combustible depende en gran medida del modelo de motor utilizado para accionamiento de los generadores. Por otra parte, también dependerá del tiempo que estos motores estén en marcha. El primer parámetro se puede valorar a partir del consumo específico dado por los fabricantes de motores mientras que el segundo depende del modo en que se utilicen. La tabla 4.4.1 de la página siguiente contempla ambas cuestiones.

Factor de utilización y consumo específico de combustible		
TIPO DE BUQUE	FACTOR DE UTILIZACIÓN DE GRUPOS GENERADORES EN PUERTO (%)	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE EN PUERTO (g/kWh)
CARGA GENERAL	20	225
PASAJE O CRUCERO	20	236
FRIGORÍFICO	20	225
METANERO (LNGC)	40	278
CEMENTERO	20	225
GRANELERO (MINERAL)	20	222
GRANELERO (CEREAL)	20	222
PETROLERO	40	237
QUIMIQUERO	40	237
PORTACONTENEDORES	20	223

Tabla 4.4.1. Valores típicos de factor de utilización y consumo específico “en puerto”
Fuente: Winkel, R. (2015) ^[18]

4.5 Consumo de combustible y estancia en puerto en función del arqueo

La estancia de un buque mercante “*en puerto*” según su clase y tamaño es un dato importante para estudiar la rentabilidad de una conexión “Shore-To-Ship” para un buque nuevo pero sobre todo para la adaptación de uno existente. Ésta, en general, se puede deducir con datos estadísticos. El consumo de combustible en puerto por cada 1.000 GT depende de varios factores muy variables pero se puede estimar que en condiciones normales, para cada tipo de buque según su clase y tamaño según muestra la tabla 4.5.1 siguiente

Consumo y estancia “en puerto” en función del arqueo			
TIPO DE BUQUE	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE EN PUERTO (kg de FO / 1000 GT)	TIEMPO MEDIO EN PUERTO (h)	TAMAÑO MEDIO DEL BUQUE (GT)
PETROLEROS	19,3	28	46.135
OTROS BUQUES TANQUE	17,5	24	7.940
GRANELEROS	2,4	52	52.430
PORTACONTENEDORES	5,0	21	28.855
CARGA GENERAL	5,4	25	3.458
FERRIES Y RO-RO	6,9	24	26.171
CRUCEROS	9,2	28	83.650

Tabla 4.5.1. Valores típicos de consumo y estancia “en puerto” en función del arqueo
Fuente: Winkel, R. (2015) ^[18]

4.6 Consumo combustible para electricidad en función del tiempo y arqueo

Dentro de los consumos de combustible “en puerto” se encuentra el consumo para la generación de electricidad que representa un porcentaje que depende de la clase y tamaño del buque y que se puede calcular. Se representa en tabla 4.6.1

Consumo y estancia “en puerto” en función del tiempo y arqueo		
TIPO DE BUQUE	CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA ELECTRICIDAD (kg de FO / 1000 GT)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA ELECTRICIDAD (%)
PETROLEROS	97	18
OTROS BUQUES TANQUE	63	15
GRANELEROS	80	64
PORTACONTENEDORES	47	45
CARGA GENERAL	89	66
FERRIES Y RO-RO	83	50
CRUCEROS	193	75

Tabla 4.6.1. Consumo de combustible en puerto en función de la estancia y arqueo
Fuente: Winkel, R. (2015) ^[18]

5 MÉTODOS PARA REDUCIR EMISIONES DE NOX

Los métodos disponibles para la reducción de las emisiones de NOx en el sector marítimo son los que se presentan en la siguiente figura 5.1:

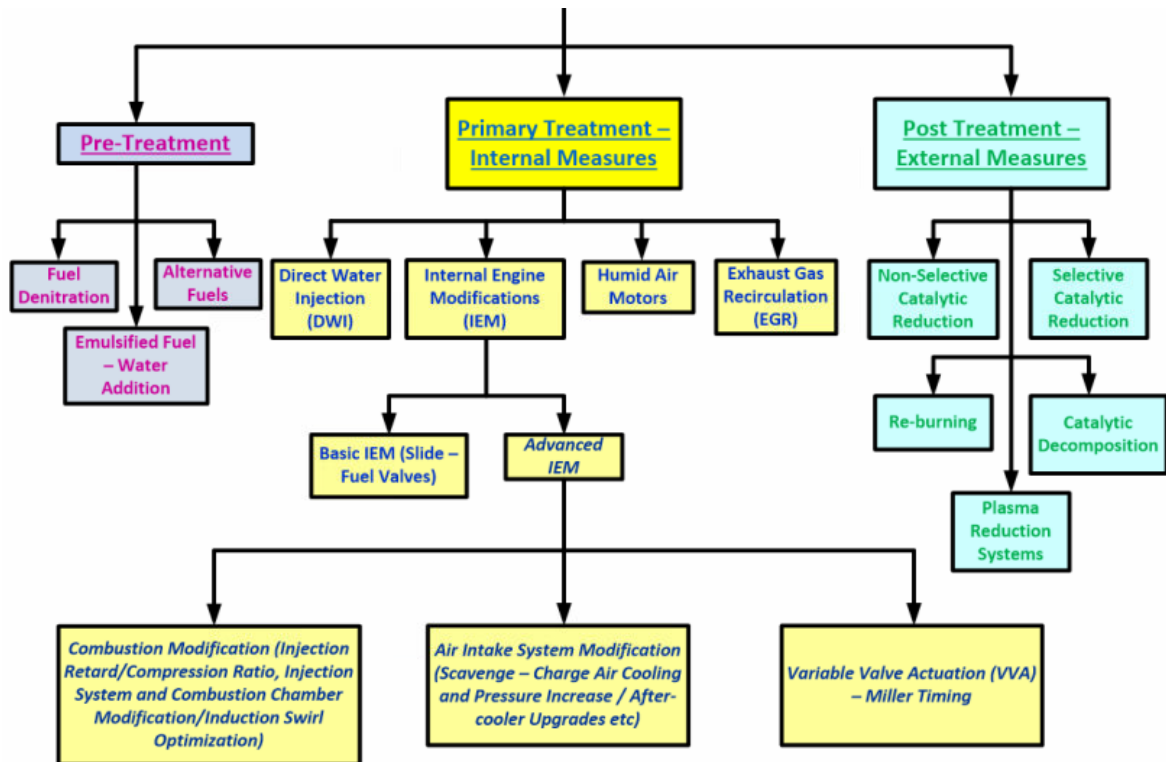


Figura 5.1. Diagrama de tecnologías para la reducción de NOx
Fuente: Applied Energy 157 (2015) 814-823 ^[15]

5.1 Inyección directa de agua en la cámara de combustión (DWI)

Se reduce el 50 % de emisiones de NOx aumentando un 2 % el consumo. Con una inyección cercana al 70% de agua en relación al combustible bajan las emisiones de NOx en 6 g/kWh. Se puede ver un esquema en la figura 5.1.1

5.2 Inyección directa de emulsión de combustible y agua (WFE)

Se produce una violenta evaporación del agua que provoca una segunda escisión del combustible que mejora la eficiencia de la combustión al reducirse el tamaño de las partículas de combustible, la mejora de la eficiencia es de un 10 %, se

produce un 30 % menos de NO_x , menor desgaste al no haber residuos carbonosos. Tiene poca aceptación de los fabricantes.

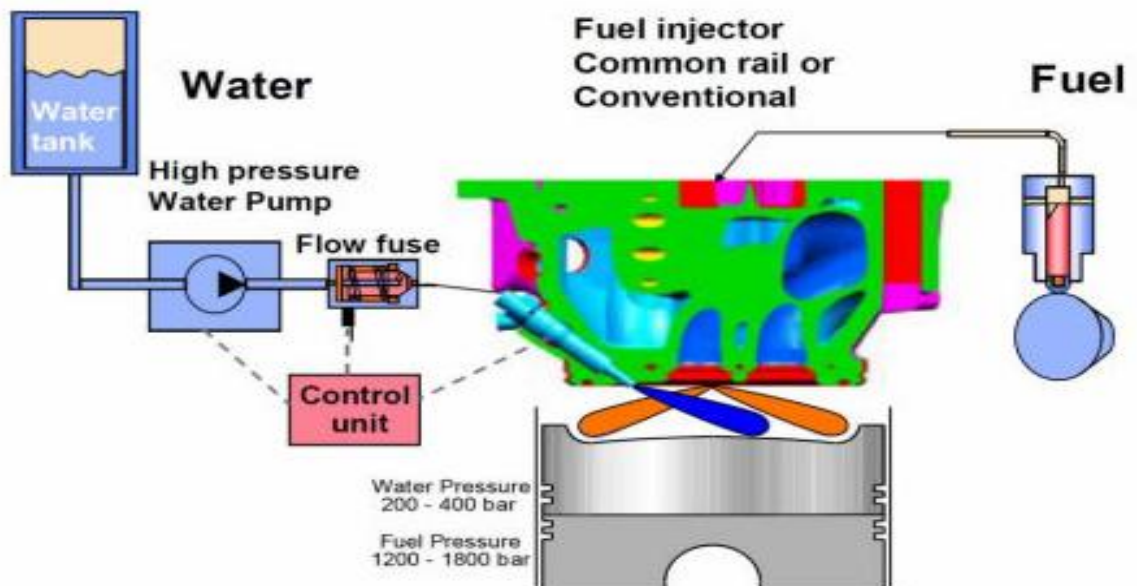


Figura 5.1.1 - Inyección Directa de Agua (DWI) para reducción de NO_x
Fuente: Tremuli, P. (2008) ^[16]

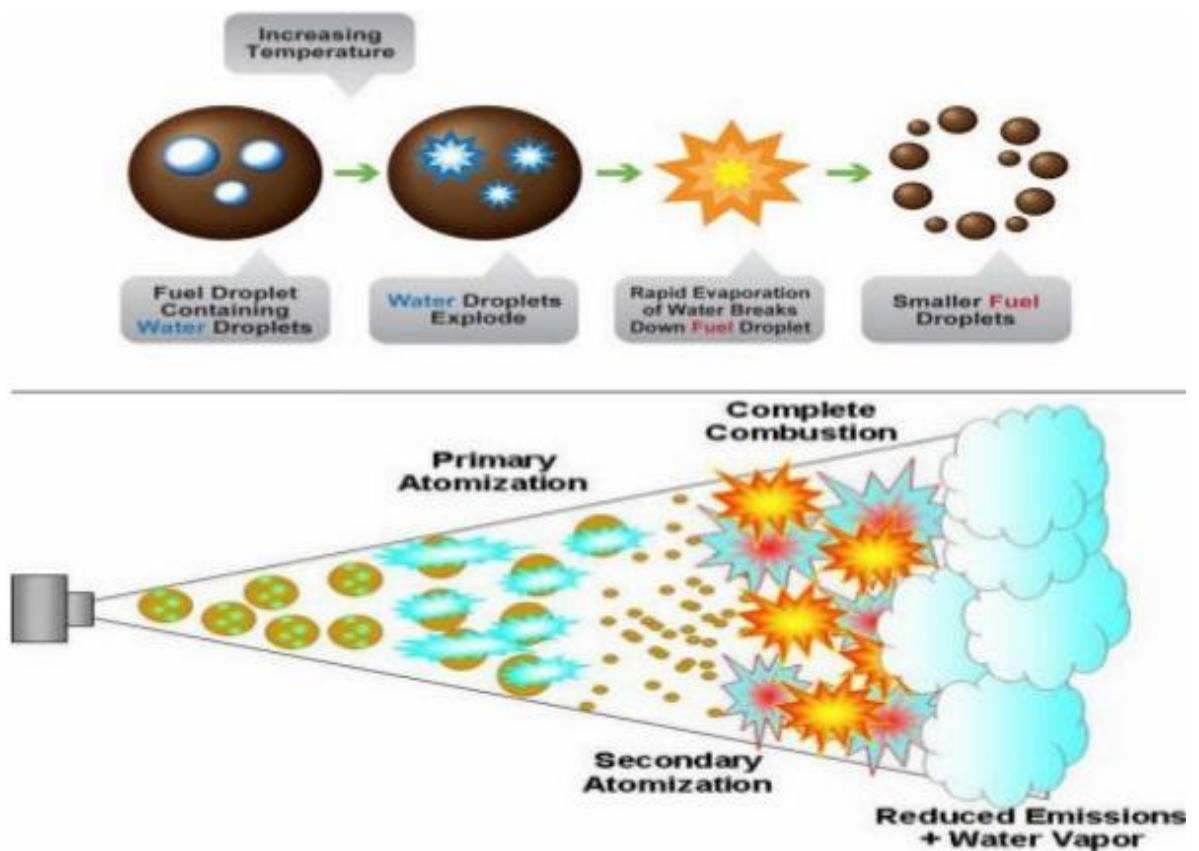


Figura 5.2.1 - Combustión de la emulsión de agua y combustible (FWE) para reducción de NO_x
Fuente: Thermal Mtech, Jagadeesh, I. (2015) ^[16]

5.3 Recirculación de gases de escape (EGR)

Consiste en recircular gases de escape hasta el colector de aire, produciéndose una reducción del oxígeno en la combustión y, en consecuencia, una disminución de la temperatura de llama formándose alrededor de un 20 % menos emisiones de NO_x. El modelo de la instalación se muestra en la figura 5.3.1

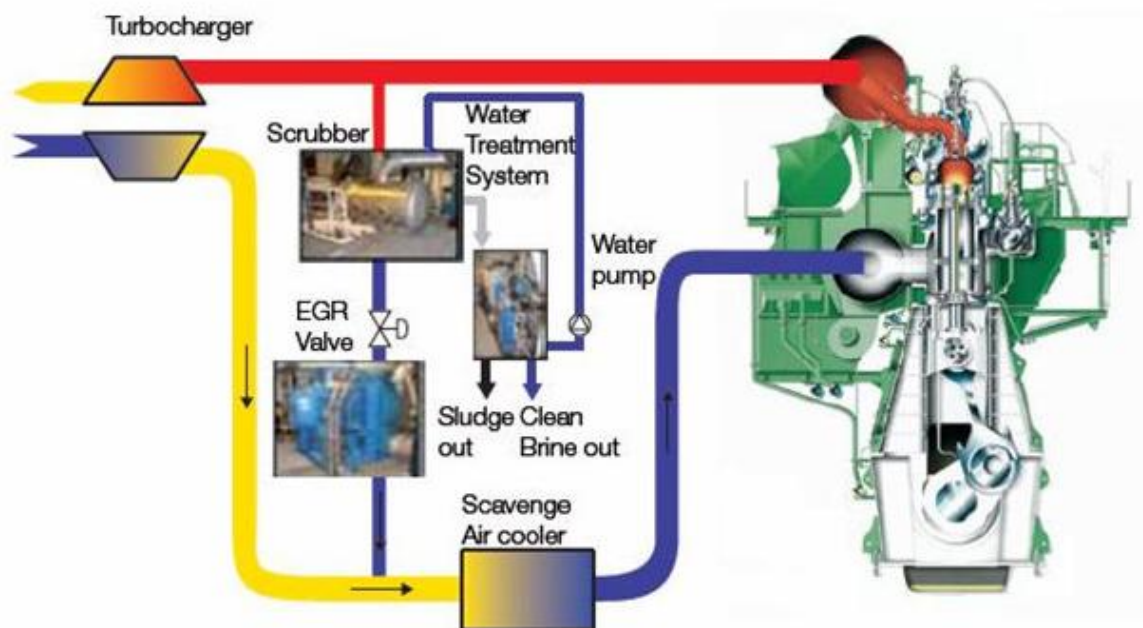


Figura 5.3.1 – Sistema de recirculación de gases de escape (EGR) para reducción de NO_x
Fuente: Yfantis (2016) ^[14]

5.4 Inyección de agua en el aire de admisión (HAM)

Si se baja la temperatura de llama se reducen las emisiones de NO_x. Esto se consigue enfriando el aire de admisión. MAN Diesel & Turbo con el sistema HAM (motor de aire húmedo), hace que la carga del turbocompresor de aire esté saturada con vapor de agua de mar antes de que entre en combustión en el cilindro del motor y reduciendo la emisión de NO_x. Se muestra en la figura .5.4.1

5.5 Combustión con bajo contenido en aire

Consiste en reducir la cantidad de aire en la zona de combustión para realizar la combustión completa. Con este sistema se reduce entre un 10 % a 45 % las emisiones de NO_x.

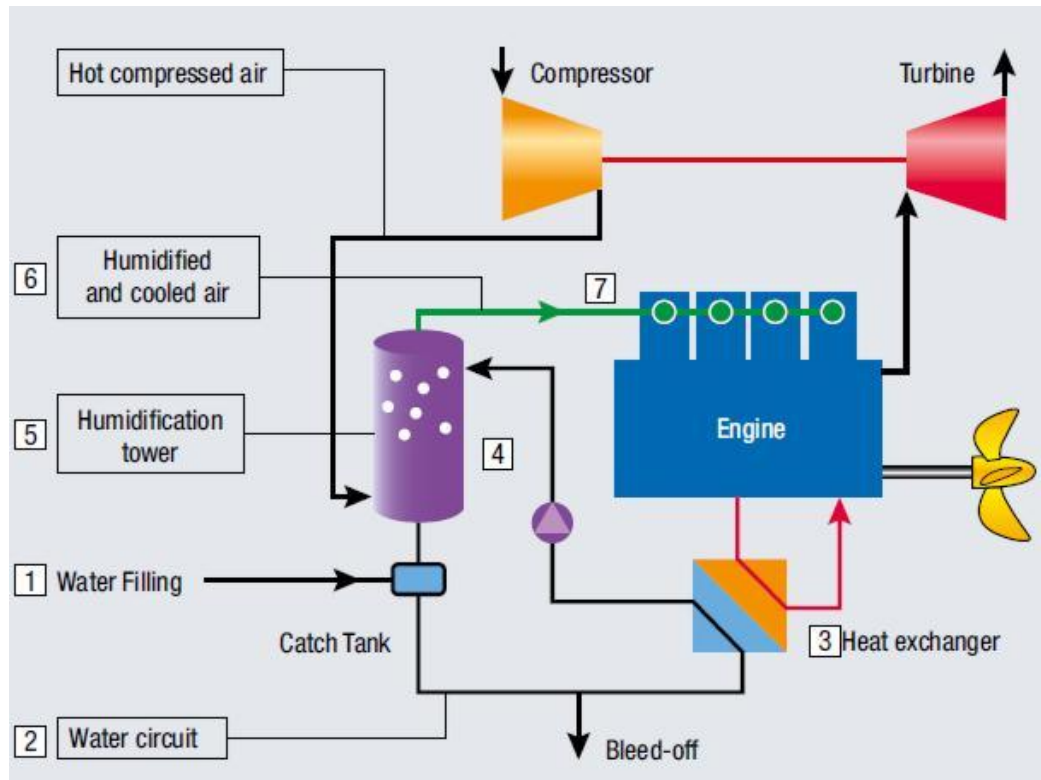


Figura 5.4.1 – Inyección de agua en el aire de admisión (HAM) para reducción de NOx
Fuente: Yfantis (2016) ^[14]

5.6 Resumen de las tecnologías precombustión para reducción de NOx

Método reducción de NO _x	Consecuencias
Recirculación de gases	Reducción 20 a 50% Económico Aumenta consumo Baja rendimiento
Combustión bajo contenido en aire	Reducción 10 a 44% Bajo coste Emisión de hollín
Inyección de agua en el aire de admisión	Reduce hasta 40% Eficiencia alta Disminuye consumo Poco mantenimiento

Inyección directa de agua en cámara de combustión	Reducción 50 a 60% Económico No voluminoso
Emulsión de agua en combustible	Reduce hasta 30% Aumenta eficiencia Disminuye desgaste en motor

Tabla 5.6.1. Resumen comparativo de tecnologías para la reducción de NOx

5.7 Reducción catalítica selectiva (SCR)

Con este sistema las moléculas de NOx de los gases de escape son reducidas químicamente a N₂ y H₂O. El agente reductor se inyecta en una carcasa montada en el tubo de escape que contiene un catalizador a temperaturas entre 270 °C y 500 °C .Este sistema y su instalación se representa de manera esquemática dentro de un buque en la figura 5.8.1



Figura 5.8.1 - Reducción catalítica selectiva (SCR) para la reducción de NOx
Fuente: Worldpanasia ^[39]

5.8 Reducción catalítica no selectiva (SNCR)

Consiste en reducir químicamente las moléculas de NO_x a nitrógeno N₂ y vapor de agua H₂O. Para ello se inyecta urea CO(NH₂)₂ o amoníaco NH₃ en los gases de combustión produciendo una reducción de NO_x a temperatura entre 860 °C y 1.150 °C. La urea es un líquido no tóxico y menos volátil que el amoníaco y más fácil de manejar y almacenar con seguridad.

6 MÉTODOS PARA LA REDUCCIÓN DE SOX

6.1 Clasificación de los combustibles líquidos según el contenido en azufre

Los combustibles de uso marino se denominan y clasifican así:

- **IFO 380:** contenido de azufre < 3,5 % y viscosidad máxima 380 cSt
- **IFO 180:** contenido de azufre < 3,5 % y viscosidad máxima de 180 cSt
- **LSFO 380:** contenido de azufre < 1,0 % y viscosidad máxima de 380 cSt
- **LSFO 180:** contenido de azufre < 1,0 % y viscosidad máxima de 180 cSt
- **MDO:** dieseloil para uso marino
- **MGO:** gasóleo para uso marino
- **LSMGO:** gasóleo para uso marino con contenido de azufre < 0,1 %
- **ULSMGO:** gasóleo para uso marino con contenido de azufre < 0,0015 %

La utilización de combustibles bajo en azufre requieren en el barco la habilitación de los tanques a usar, es decir limpieza de los tanques almacén a utilizar. Además, si sólo se usan estos combustibles en las zonas ECA, al tener que realizar cambio de combustible, afecta en el tiempo de trabajo de la tripulación.

6.2 Lavado de gases

El lavado de gases es la tecnología mediante la cual se limpia la emisión gaseosa de los contaminantes que contiene. Para separar las moléculas contaminantes del

flujo gaseoso se utiliza el contacto con un líquido (agua, reactivo químico o combinación de ellos). Los diferentes tipos de sistemas de lavado se representan en el siguiente esquema 6.2.1. En tipo húmedo se eliminan hasta 99 % de SO_x.

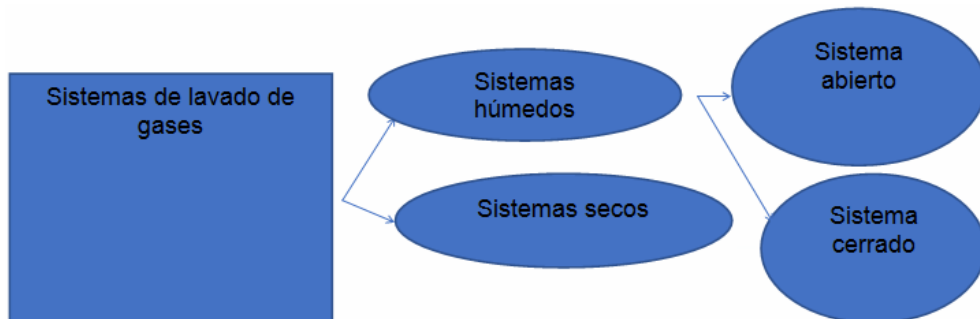


Figura 6.2.1 - Métodos de lavado de gases para la reducción de SO_x
Fuente: Elaboración Propia

Los sistemas de lavado de gases están formados en su mayoría por una serie de componentes comunes que se pueden distinguir en la figura 6.2.2:

- un tanque en la zona alta del buque donde se mezclan gases y agua
- una planta para tratar los contaminantes del proceso de limpieza
- un tanque de lodos donde se almacenan los lodos generados

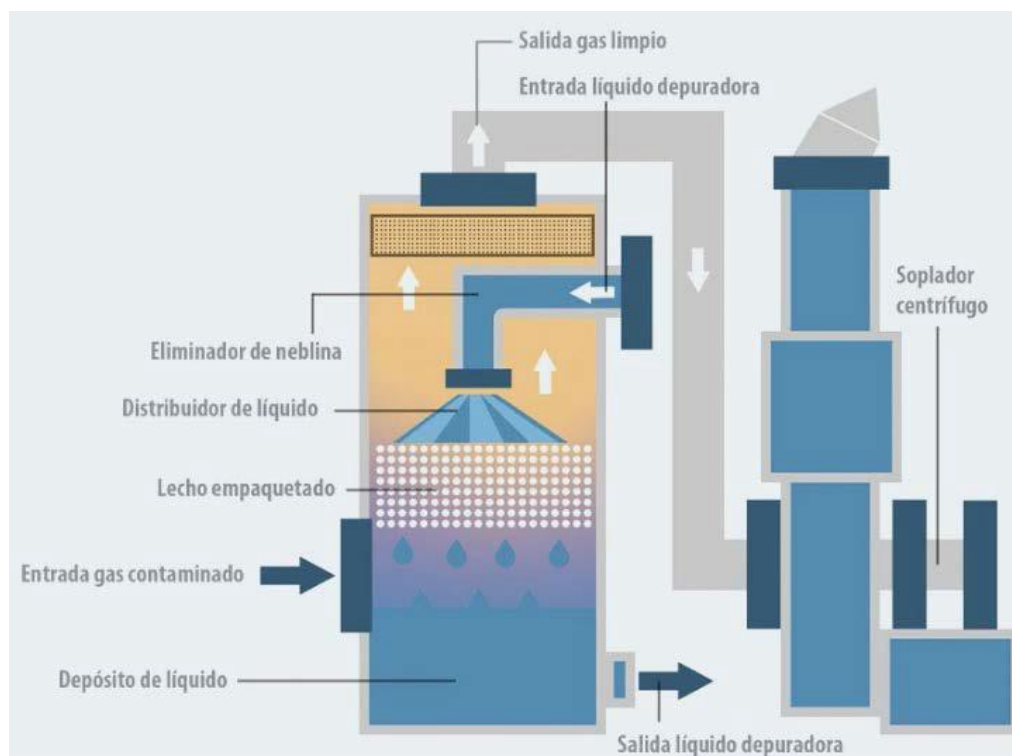


Figura 6.2.2 - Torre de lavado de gases para la reducción de SO_x
Fuente: Raptotasios (2014) ^[15]

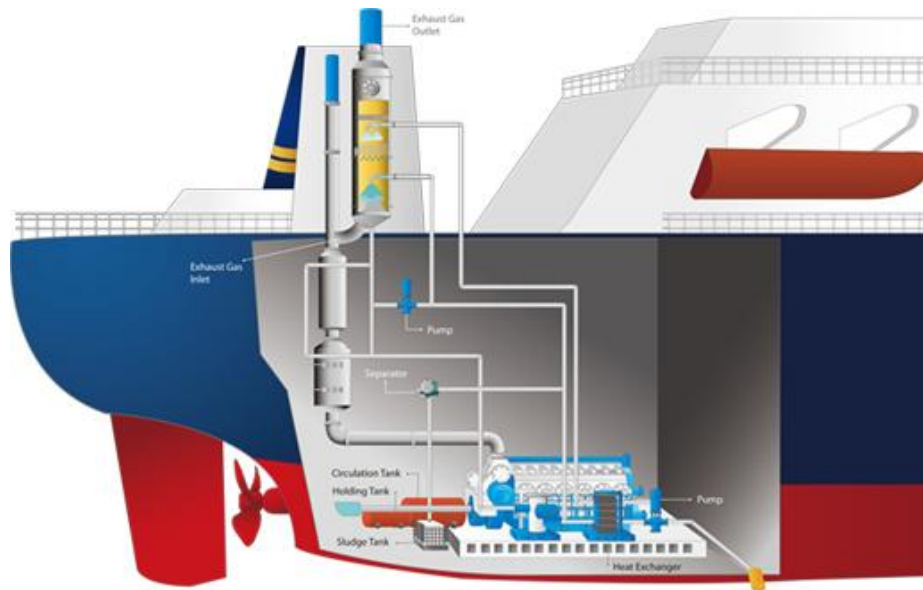


Figura 6.2.3 – Ubicación en buque de la torre de lavado de gases para la reducción de SOx
Fuente: Worldpanasia ^[39]

7 CONFIGURACIONES TÍPICAS DE SHORE-TO-SHIP

7.1 La frecuencia eléctrica en el mundo

Las frecuencias adoptadas a nivel mundial de 50 ó 60 Hz en tienen como consecuencia que los buques tengan diferentes sistemas eléctricos en función de su procedencia. La frecuencia por zona mundial se puede ver en la figura 7.1.1.

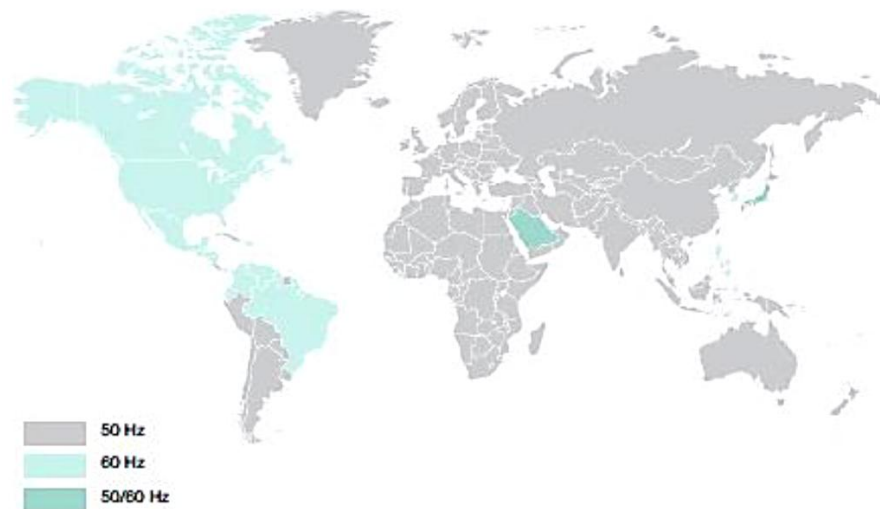


Figura 7.1.1 – Distribución de la frecuencia eléctrica a nivel mundial
Fuente: Winkel, R. (2015) ^[18]

7.2 La frecuencia eléctrica en los buques mercantes

La distribución de los buques en función de la frecuencia instalada a bordo se muestra en la tabla 7.2.1 siguiente:

Frecuencia eléctrica en los buques mercantes		
% BUQUES	50 Hz	60 Hz
PORTACONTENEDORES (E < 140 m)	63	37
PORTACONTENEDORES (E > 140 m)	6	94
TOTAL PORTACONTENEDORES	26	74
BUQUES RO-RO	30	70
BUQUES TANQUE	20	80
CRUCEROS (E < 200 m)	36	64
CRUCEROS (E > 200 m)	-	100
TOTAL CRUCEROS	17	83

Tabla 7.2.1 – Distribución de la frecuencia eléctrica en buques mercantes
Fuente: Ericsson (2008) ^[26]

7.3 Configuraciones más comunes de Shore-To-Ship

Las conexiones típicas del Shore-To-Ship (STS) son:

- 11 kV a la frecuencia de 60 Hz
- 11 kV a la frecuencia de 50 Hz
- 6 kV a la frecuencia de 60 Hz
- 6 kV a la frecuencia de 50 Hz

La disposición más elemental del sistema Shore-To-Ship se ve en la figura 7.3.1

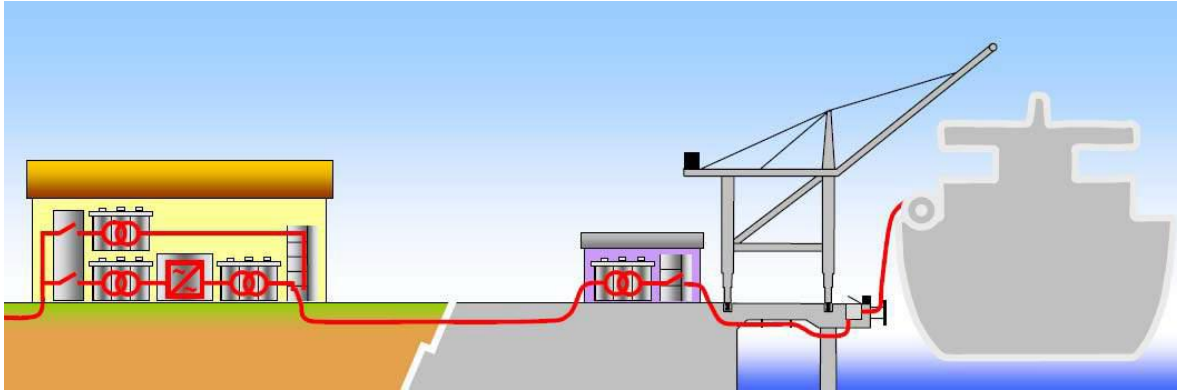


Figura 7.3.1 – Configuración Shore-To-Ship convencional
Fuente: Onshore Power Supply for LNG transport - UPM (2015) ^[21]

7.4 Conexiones entre el buque y el suministrador eléctrico

Las distintas conexiones entre el buque y el suministrador de energía eléctrica en los sistemas Shore-To-Ship pueden ser:

- a) **Sistema barcaza:** los elementos necesarios para la conexión están en una barcaza flotante cerca del buque y del muelle. Allí están los cables de alta tensión, transformadores y cables de baja tensión. Se ve en la figura 7.4.1.



Figura 7.4.1 – Conexión Shore-To-Ship con barcaza
Fuente: García, F. ^[21]

- b) **Sistema integrado en el buque:** los equipos y elementos eléctricos necesarios para el suministro están en contenedores en el muelle pero los cables estarán en el interior del buque tal como muestra la figura 7.4.2.



Figura 7.4.2 - Conexión Shore-To-Ship integrada en buque
Fuente: García, F. ^[21]

- c) **Sistema de contenedor fijo:** los cables, el transformador y el panel de conexión están en contenedores fijos en el muelle. Se ve en figura 7.4.3.

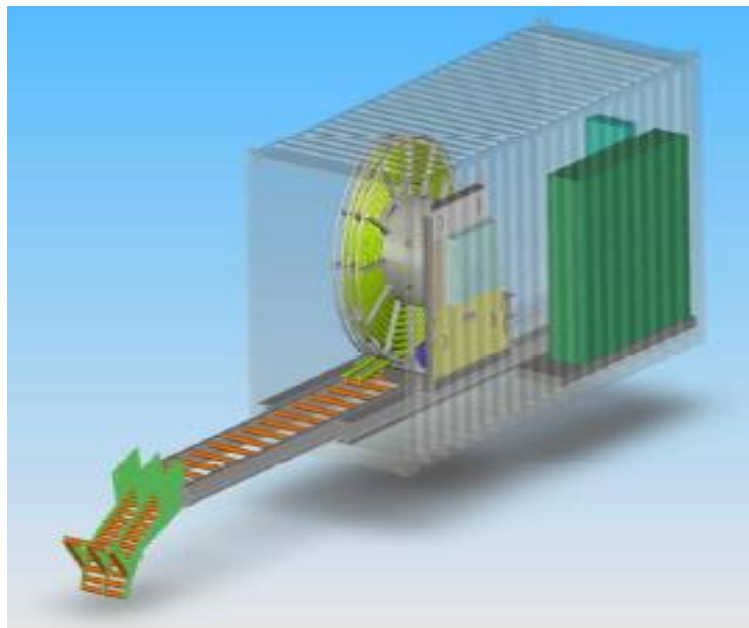


Figura 7.4.3 - Conexión Shore-To-Ship en contenedor fijo
Fuente: García, F. ^[21]

- d) **Sistema integrado en el muelle:** los cables, el transformador y el panel de conexión están integrados en el muelle. Se ve en figura 7.4.4.



Figura 7.4.4- Conexión Shore-To-Ship integrada en el muelle
Fuente: García, F. ^[21]

La logística para la distribución de la electricidad de una instalación típica de Shore-To-Ship necesita de estos medios:

- La red nacional de electricidad transporta la energía eléctrica a una tensión entre 20 y 100 kV
- Una subestación local donde se transforma a entre 6 y 20 kV
- Infraestructura logística para la distribución de la electricidad de la subestación local a la terminal portuaria
- Cableado para la distribución en la instalación portuaria
- Si fuera necesario convertidores de frecuencia
- Sistema de enrollamiento del cable de conexión al buque (figura 7.4.5)
- Transformador a bordo para conseguir 400 V (figura 7.4.6)



Figura 7.4.5- Cables de conexión Shore-To-Ship en el muelle
Fuente: Cavotec (2009) ^[20]



Figura 7.4.6 - Transformador para conexión Shore-To-Ship en el buque
Fuente: Propia del Autor

8 REDUCCIÓN DE EMISIONES AL UTILIZAR SHORE-TO-SHIP

En el año 2005, la Comisión Europea encargó un estudio comparativo sobre cuáles son las emisiones gaseosas para producir un kWh eléctrico en un grupo auxiliar diesel de un buque que consume combustible con menos de 0,1 % de azufre (límite UE 2010) y cuáles son las generadas por ese mismo kWh eléctrico si se suministrase por una conexión desde tierra al buque. Los resultados de ese estudio se muestran en siguiente tabla 8.1

Emisiones para la generación de 1 kWh eléctrico en buques				
SUMINISTRADOR	SOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO₂ (g/kWh)
ELECTRICIDAD EUROPEA	0,35	0,46	0,02	0,03
ELECTRICIDAD A BORDO	11,8	0,46	0,40	0,30

Tabla 8.1. Emisiones a la atmósfera para generar 1 kWh según fuente de suministro
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012) ^[19]

De igual modo, se analizaron las emisiones en gramos por kilowatio por hora de estos compuestos nocivos SOx, NOx, PM y CO₂ en función del tipo de combustible utilizado por los generadores de los buques. Se ve en la tabla 8.2 en donde el valor entre paréntesis es el contenido de azufre del combustible.

Emisiones para generar 1 kWh en buques según combustible				
COMBUSTIBLE (% Azufre)	SOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	CO₂ (g/kWh)
FO (3,5%)	13	9 - 12	1,5	580 - 630
MGO (1,1%)	2	8 - 11	0,25 - 0,5	580 - 630
MDO (0.5)	0,4	8 - 11	0,15 - 0,25	580 - 630
LNG	0	2	0	430 - 480

Tabla 8.2. Emisiones a la atmósfera para generar 1 kWh según tipo de combustible
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012) ^[19]

Por otra parte, también se estudió la reducción de emisiones por tipo de motor generador diesel en toneladas por año en función de tamaño de motor diésel, comparando si se consume combustible con menos de 0,1 % de azufre con el suministro desde tierra. Los resultados se ven en la tabla 8.3 a continuación.

Emisiones para generar 1 kWh en buques según motor				
CONTAMINANTE		Motor pequeño (t/año)	Motor mediano (t/año)	Motor grande (t/año)
NOx	Emisiones Puerto	15,3	42,4	109,1
	Reducción emisiones	14,81	41,09	105,86
	Eficiencia	97 %	97 %	97 %
SOx	Emisiones Puerto	0,62	1,72	4,44
	Reducción emisiones	0,0	0,0	0,0
	Eficiencia	0 %	0 %	0 %
VOC	Emisiones Puerto	0,52	1,44	3,71
	Reducción emisiones	0,49	1,36	3,49
	Eficiencia	94 %	94 %	94 %
PM	Emisiones Puerto	0,39	1,08	2,78
	Reducción emisiones	0,35	0,96	2,48
	Eficiencia	89 %	89 %	89 %

Tabla 8.3. Emisiones a la atmósfera para generar 1 kWh según tamaño del motor
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012) ^[19]

El factor de utilización de grupos generadores en puerto en % es la representación de la potencia que se utiliza en puerto respecto a la potencia total que se puede usar, es decir, la potencia total de los generadores instalados. Su relación con el consumo específico de combustible en puerto se ve en la tabla 8.4

Factor de utilización y consumo específico de combustible		
TIPO DE BUQUE	FACTOR DE UTILIZACIÓN DE GRUPOS GENERADORES EN PUERTO (%)	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE EN PUERTO (g/kWh)
CARGA GENERAL	20	225
PASAJE	20	236
FRIGORÍFICO	20	225
METANERO (LNGC)	40	278
CEMENTERO	20	225
GRANELERO	20	222
PETROLERO	40	237
QUIMIQUERO	40	237
PORTACONTENEDORES	20	223

Tabla 8.4.1. Valores típicos de factor de utilización y consumo específico “en puerto”
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012) ^[19]

9 CASO PRÁCTICO: PUERTO DE LOS ANGELES (EE.UU.)

9.1 Descripción del puerto de Los Ángeles

El puerto de Los Ángeles (EE.UU.) que se muestra en la figura 9.1.1 fue, en 2004, el primero en estar equipado con la tecnología Shore-To-Ship.

Dispone de suministro de energía eléctrica de alta tensión 6,6 kV y también tensión convencional de 440 V a la frecuencia de 60 Hz. Suministra esta energía eléctrica mediante barcaza en donde está el transformador que se conecta por la popa de los buques. La demanda de potencia varía de 7,5 MW hasta 60 MW. El 65% de buques que atracan en el muelle de contenedores usan el Shore-To-Ship. La distribución por navieras que lo utilizan se ve en la siguiente tabla 9.1.1.



Figura 9.1.1 - Vista aérea del puerto de Los Ángeles (EE.UU.) que cuenta con STS
Fuente: Sean, G. (2006) ^[24]

Factor de utilización del STS según navieras en Los Angeles (1ª parte)				
NAVIERA	Atraques STS	Total Atraques	Utilización STS	Uso en puerto
NIPPON YUSEN	33	55	60 %	18 %
EVERGREEN MARINE	26	38	68 %	14 %
HAPAG-LLOYD AG	26	35	74 %	14 %
MITSUI OSK LINE	24	32	75 %	13 %
APL LTD.	23	32	72 %	12 %
YANG MING	13	16	81 %	7 %
UNITED ARAB SHIPPING	9	9	100 %	5 %
CMA CGM	6	10	60 %	3 %

FACTOR DE UTILIZACIÓN DEL STS SEGÚN NAVIERAS EN LOS ANGELES (2ª PARTE)				
NAVIERA	Atraques STS	Total Atraques	Utilización STS	Uso en puerto
CHINA SHIPPING	4	4	100 %	2 %
HYUNDAI MERCHANT	4	8	50 %	2 %
MSC	4	5	80 %	2 %
MAERSK LINE	3	20	15 %	2 %
ORIENT OVERSEAS	3	4	75 %	2 %
CONTAINER LINE KAWASAKI	2	3	67 %	1 %
PIL USA	1	3	33 %	1 %
HAMBURG SUD	0	4	0 %	0 %
HANJIN SHIPPING	0	3	0 %	0 %
TOTAL	185	285	65 %	100 %

Tabla 9.1.1. Utilización del STS del puerto de Los Ángeles (EE.UU.) según navieras
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012)^[19]

9.2 Emisiones de NO_x en el puerto de Los Ángeles

En un estudio realizado en el puerto de Los Ángeles y en el puerto de Long Beach se analizaron las emisiones de NO_x en t/día, durante un período de un año. Desde junio de 2002 a junio de 2003 se contabilizaron las emisiones producidas por los motores principales, motores auxiliares y calderas durante la navegación, maniobras y atracados en un total de 1.148 buques y con un total de 2.913 estancias en ambos puertos.

La aportación total de NO_x era de 33 t/día de las cuales un tercio se producen cuando los buques están atracados al muelle. Se considera que 1 tonelada de NO_x es la emisión aportada por 1 millón de coches al día. En la siguiente tabla 9.2.1 se ve las emisiones de NO_x en toneladas en el puerto de Los Angeles.

Emisiones NOx en el puerto de Los Angeles según modo y equipo				
MODO	Propulsión (t/día)	Auxiliares (t/día)	Caldera (t/día)	Total (t/día)
NAVEGACIÓN	16,2	1,4	-	17,6
MANIOBRA	2,0	0,7	0,1	2,8
ATACADO	0,7	11,0	1,0	12,7
TOTAL	18,9	13,1	1,1	33,0

Tabla 9.2.1. Emisiones de NOx en el puerto de Los Ángeles (EE.UU.) según equipo y modo
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012)^[19]

9.3 Estudio de emisiones contaminantes en el puerto de Los Ángeles

Energía en puerto según edad del buque en puerto de Los Angeles				
BUQUE	Tipo	Año	kW puerto	Horas puerto
VICTORIA BRIDGE	Portacontenedores	1998	600	44
HANFIN PARIS	Portacontenedores	1997	4.800	63
LIHUE	Portacontenedores	1971	1.700	50
OCL CALIFORNIA	Portacontenedores	1996	5.200	121
CHIQUITA JOY	Frigorífico	1994	3.500	68
ECSTASY	Crucero	1991	7.000	12
ALASKAN FRONTIEN	Buque Tanque	2004	3.780	33
CHEVRON WASHINTON	Buque Tanque	1976	2.300	32
GROTON	Buque Tanque	1982	300	56
ANSAC HARMONY	Ro-Ro	1998	1.250	60
PYXIS	Granelero	1986	1.510	17

Tabla 9.3.1. Energía generada en el puerto de Los Ángeles (EE.UU.) según edad buque
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012)^[19]

En este apartado se va a realizar el cálculo de emisiones de gases contaminantes de una serie de buques de distinta clase, es decir, es un análisis para diferenciar la cantidad de emisiones respecto del tipo de buque, tiempo de escala y necesidad energética recogiendo los datos del Puerto de Los Angeles que se ven en la tabla 9.3.1 de la página anterior. Los resultados se muestran en tabla 9.3.2.

- Consumo eléctrico anual en puerto

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \cdot \text{tiempo (h)} \cdot \text{escalas} \quad (9.3.1)$$

- Coste anual si se genera la electricidad a bordo con MGO

$$\text{Coste (USD)} = \text{Consumo anual (kWh)} \cdot \text{precio kWh (USD)} \quad (9.3.2)$$

- Coste anual si se suministra la electricidad con STS

$$\text{Coste (USD)} = \text{Consumo anual (kWh)} \cdot \text{precio kWh (USD)} \quad (9.3.3)$$

Nota: Coste del kWh con STS de 0,045 USD y con MGO de 0,089 USD ^[19]

Coste anual de la energía en puerto Los Angeles para varios buques				
BUQUE	Escalas año	kWh Año	Coste MGO (USD)	Coste STS (USD)
VICTORIA BRIDGE	10	264.000	23.496	11.880
HANFIN PARIS	10	3.024.000	269.136	136.080
LIHUE	16	1.360.000	121.040	61.200
OCL CALIFORNIA	8	5.033.600	447.990	226.512
CHIQUITA JOY	25	5.950.000	529.550	267.750
ECSTASY	52	4.368.000	388.752	196.560
ALASKAN FRONTIEN	15	1.871.100	166.527	84.199
CHEVRON WASHINTON	16	1.177.600	104.806	52.992
GROTON	24	403.200	35.884	18.144
ANSAC HARMONY	1	75.000	6.675	3.375
PYXIS	9	231.030	20.567	10.396

Tabla 9.3.2. Coste anual de energía en puerto de Los Ángeles (EE.UU.) en varios buques

Se observa que en un año el ahorro puede ser elevado. En términos de balance global económico se ha realizado el gráfico 9.3.1 y se cuantifica en la tabla 9.3.3.

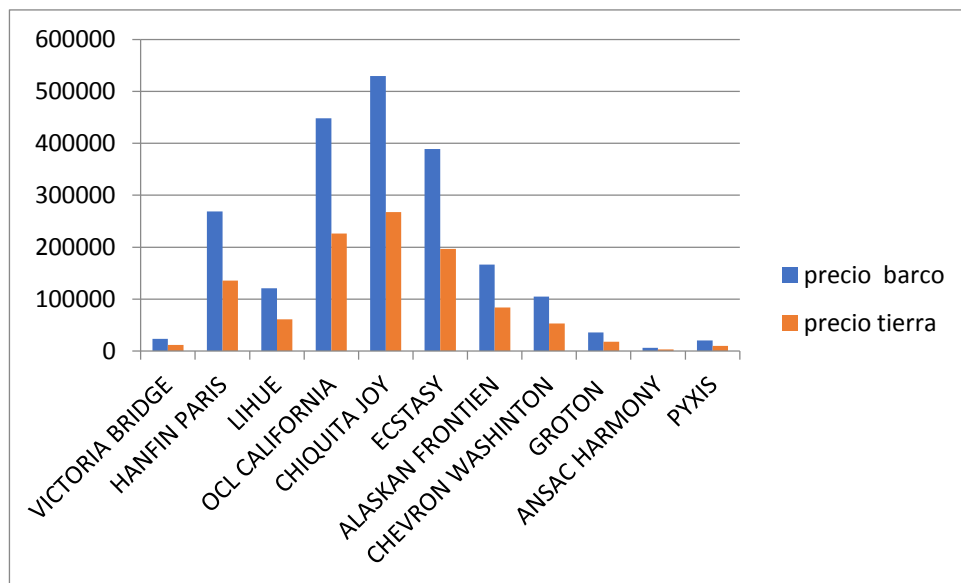


Figura 9.3.1 - Gráfico del coste anual según la energía se genera a bordo con MGO o sea STS

Ahorro anual de la energía en puerto de Los Angeles por uso del STS	
BUQUE	Ahorro STS (USD)
VICTORIA BRIDGE	11.616
HANFIN PARIS	133.056
LIHUE	59.840
OCL CALIFORNIA	221.478
CHIQUITA JOY	261.800
ECSTASY	192.192
ALASKAN FRONTIEN	82.328
CHEVRON WASHINTON	51.814
GROTON	17.740
ANSAC HARMONY	3.300
PYXIS	10.165

Tabla 9.3.3. Ahorro anual según la energía se genera a bordo con MGO o sea STS

En la siguiente tabla 9.3.4 se ve la diferencia entre las emisiones de NOx, SOx, VOC y PM entre un mismo kWh producido por motor diesel con MGO o el producido en el puerto de Los Ángeles y suministrado por STS.

Emisiones para generar 1 kWh en puerto con MM.AA. y con STS				
MÉTODO	NOx (g/kWh)	SOx (g/kWh)	VOC (g/kWh)	PM (g/kWh)
GENERADOR DIÉSEL	11,8	0,46	0,4	0,3
PUERTO DE LOS ÁNGELES	0,35	0,46	0,02	0,003

Tabla 9.3.4. Emisiones en el puerto de Los Ángeles (EE.UU.) con MM.AA. y con STS
Fuente: Papoutsoglou, T. (2012)^[19]

- Toneladas anuales de NOx generadas por los MM.AA.

$$\text{Emisiones NOx (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Emisión NOx (g/kWh)} / 1000 \quad (9.3.4)$$

- Toneladas anuales de NOx generadas con STS

$$\text{Emisiones NOx (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Emisión NOx (g/kWh)} / 1000 \quad (9.3.5)$$

- Toneladas anuales de SOx generadas por los MM.AA

$$\text{Emisiones SOx (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Emisión SOx (g/kWh)} / 1000 \quad (9.3.6)$$

- Toneladas anuales de SOx generadas por con STS

$$\text{Emisiones SOx (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Emisión SOx (g/kWh)} / 1000 \quad (9.3.7)$$

En la tabla 9.3.5 queda registrada la diferencia entre las toneladas generadas de NOx al año por barco si utiliza la electricidad generada por sus MM.AA o la suministrada por la estación de tierra mediante STS. Se ve en la figura 9.3.2.

En la tabla 9.3.6 queda registrada la diferencia entre las toneladas generadas de SOx al año por barco si utiliza la electricidad generada por sus MM.AA o la suministrada por la estación de tierra mediante STS. Se ve más claramente en el diagrama de barras de la figura 9.3.3.

Toneladas de NOx según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	MM.AA (t/año)	STS (t/año)
VICTORIA BRIDGE	3.115	92
HANFIN PARIS	35.683	1.058
LIHUE	16.048	476
OCL CALIFORNIA	59.396	1.761
CHIQUITA JOY	70.210	2.082
ECSTASY	51.542	1.528
ALASKAN FRONTIEN	22.078	654
CHEVRON WASHINTON	13.895	412
GROTON	4.757	141
ANSAC HARMONY	885	26
PYXIS	2.726	81

Tabla 9.3.5. Toneladas anuales de NOx según se genere con MM.AA o sea STS

Toneladas de SOx según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	MM.AA (t/año)	STS (t/año)
VICTORIA BRIDGE	121	121
HANFIN PARIS	1.391	1.391
LIHUE	625	625
OCL CALIFORNIA	2.315	2.315
CHIQUITA JOY	2.737	2.737
ECSTASY	2.009	2.009
ALASKAN FRONTIEN	860	860
CHEVRON WASHINTON	541	541
GROTON	185	185
ANSAC HARMONY	34	34
PYXIS	106	106

Tabla 9.3.6. Toneladas anuales de SOx según se genere con MM.AA o sea STS

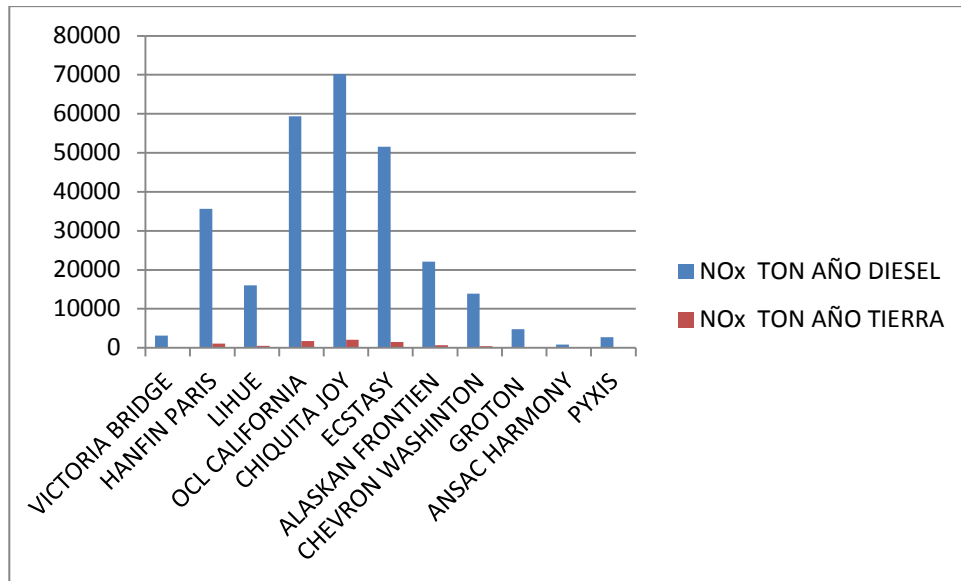


Figura 9.3.2 - Toneladas anuales de NOx según se genere con MM.AA o sea STS

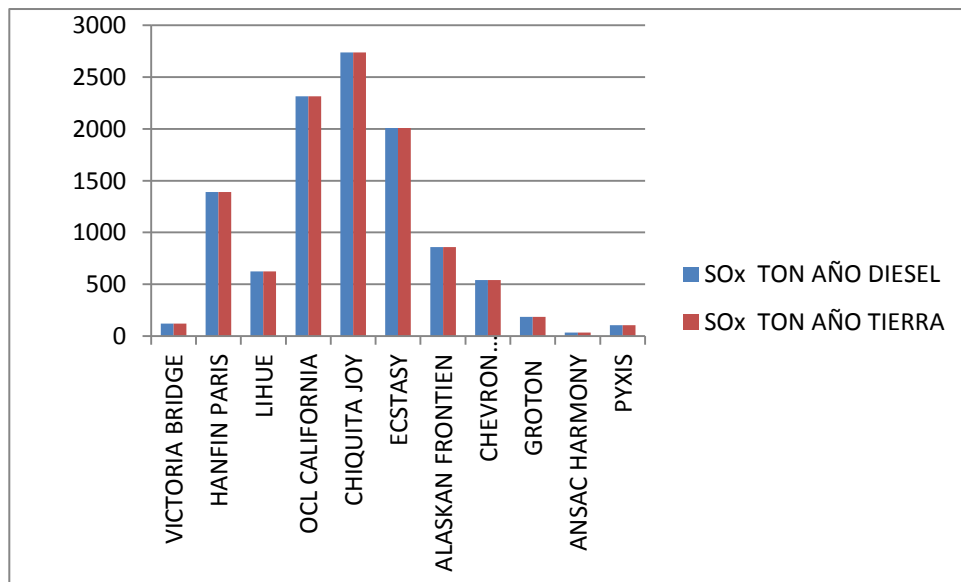


Figura 9.3.3 - Toneladas anuales de SOx según se genere con MM.AA o sea STS

- Toneladas anuales de VOC generadas por los MM.AA.

$$Emisiones\ VOC\ (t/año) = Energía\ anual\ (kWh) \cdot Emisión\ VOC\ (g/kWh) / 1000 \quad (9.3.8)$$

- Toneladas anuales de PM generadas por los MM.AA.

$$Emisiones\ PM\ (t/año) = Energía\ anual\ (kWh) \cdot Emisión\ PM\ (g/kWh) / 1000 \quad (9.3.9)$$

- Toneladas anuales de VOC generadas con STS

$$\text{Emisiones SO}_x \text{ (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Emisión SO}_x \text{ (g/kWh)} / 1000 \quad (9.3.10)$$

- Toneladas anuales de PM generadas con STS

$$\text{Emisiones PM (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Emisión PM (g/kWh)} / 1000 \quad (9.3.11)$$

En la tabla 9.3.7 queda registrada la diferencia entre las toneladas generadas de VOC al año por barco si utiliza la electricidad generada por sus MM.AA o la suministrada por la estación de tierra mediante STS. Se ve más claramente en el gráfico de la figura 9.3.4.

Toneladas de VOC según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	MM.AA (t/año)	STS (t/año)
VICTORIA BRIDGE	105	5
HANFIN PARIS	1.209	60
LIHUE	544	27
OCL CALIFORNIA	2.013	101
CHIQUITA JOY	2.380	119
ECSTASY	1.747	87
ALASKAN FRONTIEN	748	37
CHEVRON WASHINTON	471	23
GROTON	161	8
ANSAC HARMONY	30	2
PYXIS	92	5

Tabla 9.3.7. Toneladas anuales de VOC según se genere con MM.AA o sea STS

En la tabla 9.3.8 queda registrada la diferencia entre las toneladas generadas de PM al año por barco si utiliza la electricidad generada por sus MM.AA o la suministrada por la estación de tierra mediante STS. Se ve más claramente en el gráfico de la figura 9.3.5.

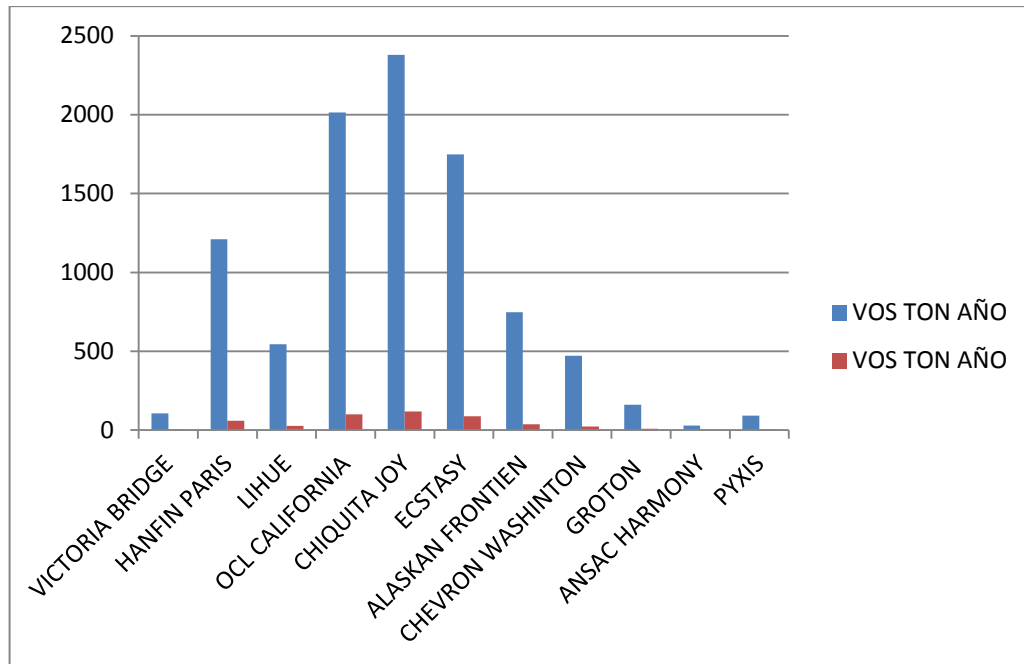


Figura 9.3.4 - Toneladas anuales de VOC según se genere con MM.AA o sea STS

Toneladas de PM según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	MM.AA (t/año)	STS (t/año)
VICTORIA BRIDGE	79	1
HANFIN PARIS	907	9
LIHUE	408	4
OCL CALIFORNIA	1.510	15
CHIQUITA JOY	1.785	18
ECSTASY	1.310	13
ALASKAN FRONTIEN	561	6
CHEVRON WASHINTON	353	4
GROTON	120	1
ANSAC HARMONY	22	0
PYXIS	69	1

Tabla 9.3.8. Toneladas anuales de PM según se genere con MM.AA o sea STS

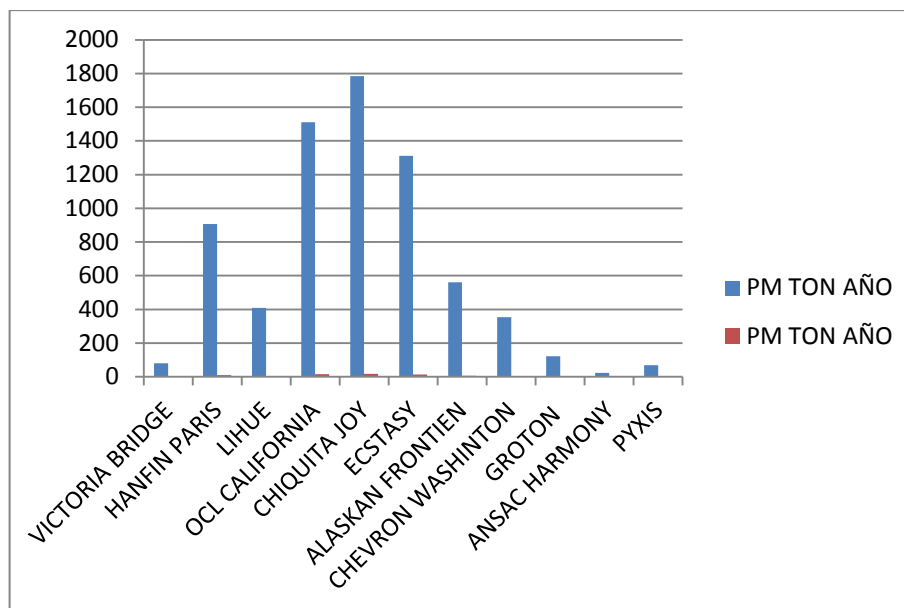


Figura 9.3.5 - Toneladas anuales de PM según se genere con MM.AA o sea STS

9.4 Reducciones anuales de emisiones contaminantes

Tomando como base los resultados obtenidos hasta ahora, se va a calcular la reducción de NO_x (tabla 9.4.1) y SO_x (tabla 9.4.2) y eficiencia del uso de STS.

Reducción de NO _x según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	Reducción (t/año)	Eficiencia STS (%)
VICTORIA BRIDGE	3.022	97 %
HANFIN PARIS	34.624	97 %
LIHUE	15.572	97 %
OCL CALIFORNIA	57.634	97 %
CHIQUITA JOY	68.127	97 %
ECSTASY	50.013	97 %
ALASKAN FRONTIEN	21.424	97 %
CHEVRON WASHINTON	13.483	97 %
GROTON	4.616	97 %
ANSAC HARMONY	88	97 %
PYXIS	2.645	97 %

Tabla 9.4.1. Reducción de emisiones NO_x y eficiencia STS en comparación al uso de MM.AA

Reducción de SOx según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	Reducción (t/año)	Eficiencia STS (%)
VICTORIA BRIDGE	0	0 %
HANFIN PARIS	0	0 %
LIHUE	0	0 %
OCL CALIFORNIA	0	0 %
CHIQUITA JOY	0	0 %
ECSTASY	0	0 %
ALASKAN FRONTIEN	0	0 %
CHEVRON WASHINTON	0	0 %
GROTON	0	0 %
ANSAC HARMONY	0	0 %
PYXIS	0	0 %

Tabla 9.4.2. Reducción de emisiones SOx y eficiencia STS en comparación al uso de MM.AA

A partir de los resultados obtenidos hasta ahora, se va a calcular la reducción de VOC (tabla 9.4.3) y PM (tabla 9.4.4) y eficiencia del uso de STS.

Reducción de VOC según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	Reducción (t/año)	Eficiencia STS (%)
VICTORIA BRIDGE	100	95 %
HANFIN PARIS	1.149	95 %
LIHUE	516	95 %
OCL CALIFORNIA	1.912	95 %
CHIQUITA JOY	2.261	95 %
ECSTASY	1.659	95 %
ALASKAN FRONTIEN	711	95 %
CHEVRON WASHINTON	447	95 %
GROTON	153	95 %
ANSAC HARMONY	28	95 %
PYXIS	87	95 %

Tabla 9.4.3. Reducción de emisiones VOC y eficiencia STS en comparación al uso de MM.AA

Reducción de PM según generación en Puerto de Los Ángeles		
BUQUE	Reducción (t/año)	Eficiencia STS (%)
VICTORIA BRIDGE	78	99 %
HANFIN PARIS	898	99 %
LIHUE	403	99 %
OCL CALIFORNIA	1.494	99 %
CHIQUITA JOY	1.767	99 %
ECSTASY	1.297	99 %
ALASKAN FRONTIEN	555	99 %
CHEVRON WASHINTON	349	99 %
GROTON	119	99 %
ANSAC HARMONY	22	99 %
PYXIS	68	99 %

Tabla 9.4.4. Reducción de emisiones PM y eficiencia STS en comparación al uso de MM.AA

9.5 Cálculo de emisiones de CO₂ utilizando otros combustibles fósiles

A continuación se analizarán las emisiones de CO₂ de los buques objeto del estudio comparadas con las emisiones producidas en la generación de 1 kWh en tierra procedente de diferentes centrales eléctricas que utilizan combustibles alternativos a los utilizados a bordo. Los datos fueron obtenidos del Departamento Medioambiental de Aragón que es la fuente más completa que se ha podido encontrar al respecto. En la tabla 9.5.1 analiza el supuesto caso de estos mismos buques si atracasen en puertos nacionales en donde un kilowatiohora generado, tendría distinta producción de CO₂ al ser obtenido con diferentes combustibles.

Emisiones de CO₂ según combustible en kgCO₂/kWh				
Gasoil	Gas Natural	Fueloil	Carbón Nacional	Carbón Importación
0,2628	0,2016	0,2736	0,4038	0,3564

Tabla 9.5.1. Emisiones de CO₂ producidas en la generación de 1 kWh según combustible
Fuente: Departamento Medioambiental de Aragón (2017) ^[20]

Las emisiones de CO₂ en toneladas anuales se relacionan en la tabla 9.5.2 para cuyo cálculo se va a utilizar la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (t/año)} = \text{Energía anual (kWh)} \cdot \text{Factor Emisión CO}_2 \text{ (kg/kWh)} \quad (9.5.1)$$

Emisiones de CO₂ anuales en STS según combustible utilizado					
BUQUE	Gasoil (t/año)	Gas Natural (t/año)	Fueloil (t/año)	Carbón Nacional (t/año)	Carbón Importación (t/año)
VICTORIA BRIDGE	69	53	72	106	94
HANFIN PARIS	794	609	827	1.221	1.077
LIHUE	357	274	372	549	484
OCL CALIFORNIA	1.322	1.014	1.377	2.032	1.793
CHIQUITA JOY	1.563	1.199	1.627	2.402	2.120
ECSTASY	1.147	881	1.195	1.763	1.556
ALASKAN FRONTIEN	491	377	511	755	666
CHEVRON WASHINTON	309	237	322	475	419
GROTON	106	81	110	162	143
ANSAC HARMONY	19	15	20	30	26
PYXIS	60	46	63	93	82

Tabla 9.5.2. Emisiones de CO₂ anuales en STS en puerto de Los Ángeles según combustible

En el diagrama de barras de la figura 9.5.1 se representan las emisiones anuales de CO₂ en toneladas para el buque VICTORIA BRIDGE dependiendo del combustible utilizado por diversas centrales eléctricas.

En el diagrama de barras de la figura 9.5.2 se representan las emisiones anuales de CO₂ en toneladas para el buque HANFIN PARIS dependiendo del combustible utilizado por diversas centrales eléctricas.

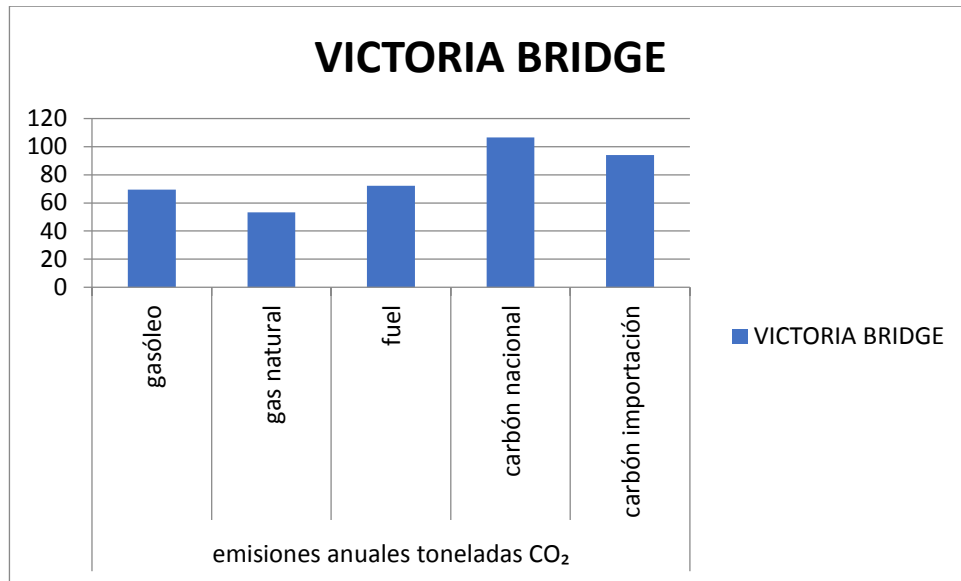


Figura 9.5.1 - Emisiones anuales de CO₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque VICTORIA BRIDGE (portacontenedores)

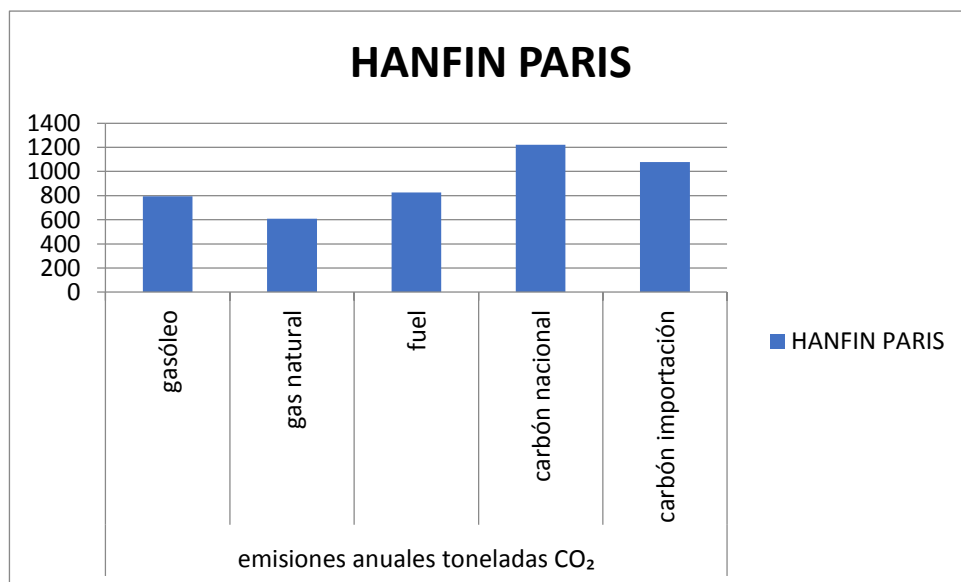


Figura 9.5.2 - Emisiones anuales de CO₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque HANFIN PARIS (portacontenedores)

En el diagrama de barras de la figura 9.5.3 se representan las emisiones anuales de CO₂ en toneladas para el buque frigorífico CHIQUITA JOY dependiendo del combustible utilizado por diversas centrales eléctricas.

En el diagrama de barras de la figura 9.5.4 se representan las emisiones anuales de CO₂ en toneladas para el buque tanque ALASKAN FRONTIEN dependiendo del combustible utilizado por diversas centrales eléctricas.

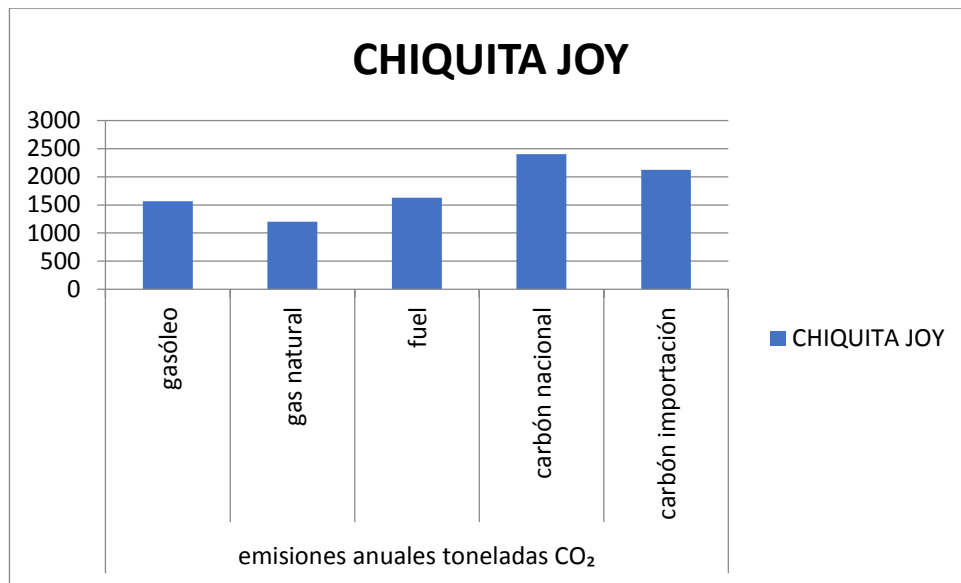


Figura 9.5.3 - Emisiones anuales de CO₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque CHIQUITA JOY (frigorífico)

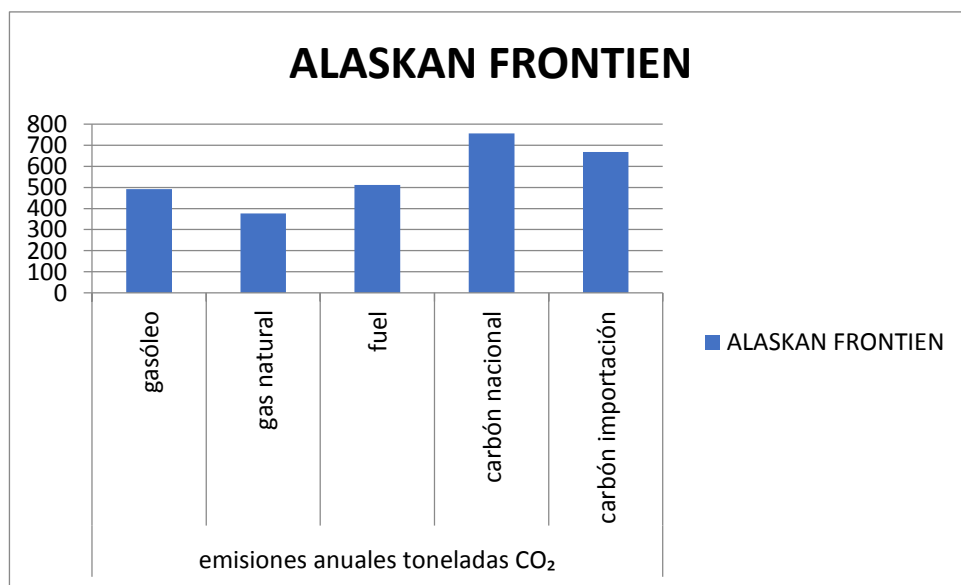


Figura 9.5.4 - Emisiones anuales de CO₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque ALASKAN FRONTIEN (buque tanque)

En el diagrama de barras de la figura 9.5.5 se representan las emisiones anuales de CO₂ en toneladas para el buque Ro-Ro ANSAC HARMONY dependiendo del combustible utilizado por diversas centrales eléctricas.

En el diagrama de barras de la figura 9.5.6 se representan las emisiones anuales de CO₂ en toneladas para el buque granelero PYXIS dependiendo del combustible utilizado por diversas centrales eléctricas.

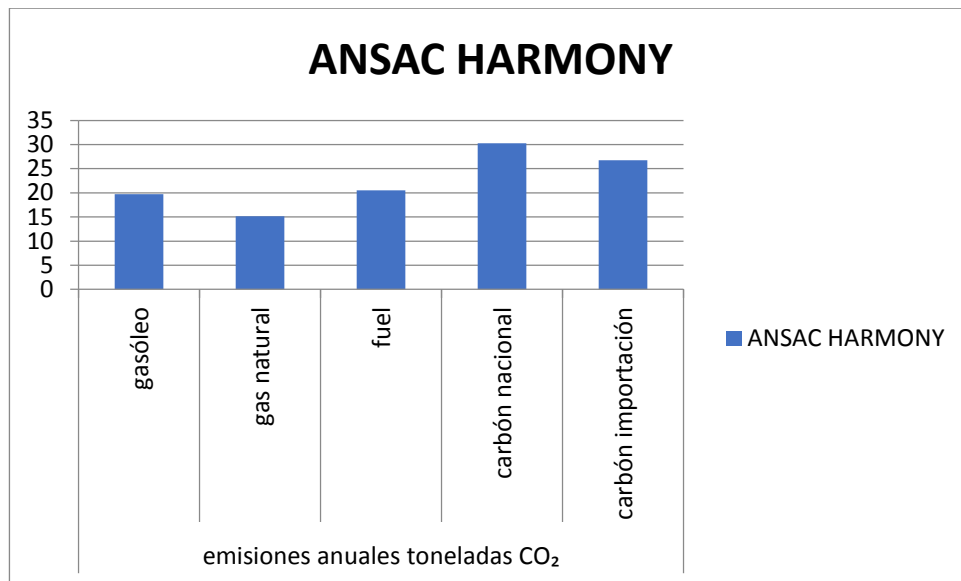


Figura 9.5.5 - Emisiones anuales de CO₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque ANSAC HARMONY (Ro-Ro)

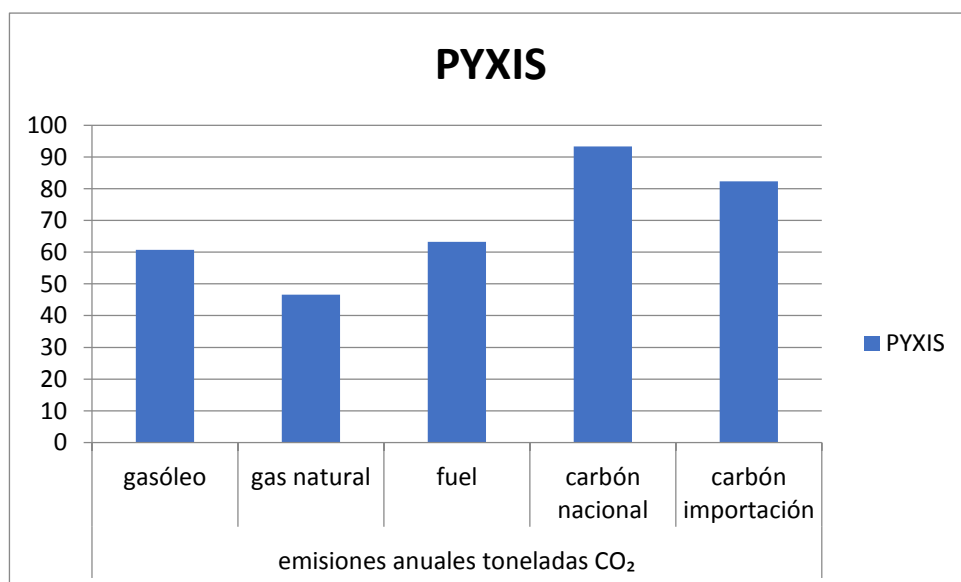


Figura 9.5.6 - Emisiones anuales de CO₂ por tipo de combustible para abastecer en STS al buque ANSAC HARMONY (Ro-Ro)

9.6 Emisiones de NO_x y SO_x en STS con gas natural con ciclo combinado

La obtención de energía térmica o eléctrica por medio del gas natural se considera la energía origen fósil más limpia. Es la que genera menos emisiones de gases de efecto invernadero junto a una muy reducida emisión de NO_x de tan sólo 1,2 g/kWh y de SO_x en torno a 0,0072 g/kWh.

En la tabla 9.6.1 y en el diagrama de barras de la figura 9.6.1 se muestran las emisiones anuales de NOx producidas para el caso de generar la energía eléctrica suministrada en Shore-To-Ship a los buques objeto del estudio (puerto de Los Ángeles) a partir de gas natural.

Emisiones de NOx por generar la energía suministrada STS con gas natural		
BUQUE	MM.AA (t/año)	STS (t/año)
VICTORIA BRIDGE	3.115	316
HANFIN PARIS	35.683	3.628
LIHUE	16.048	1.632
OCL CALIFORNIA	59.396	6.040
CHIQUITA JOY	70.210	7.140
ECSTASY	51.542	5.241
ALASKAN FRONTIEN	22.078	2.245
CHEVRON WASHINTON	13.895	1.413
GROTON	4.757	483
ANSAC HARMONY	885	90
PYXIS	2.726	277

Tabla 9.6.1. Emisiones de NOx anuales en STS en puerto de Los Ángeles a partir de gas natural

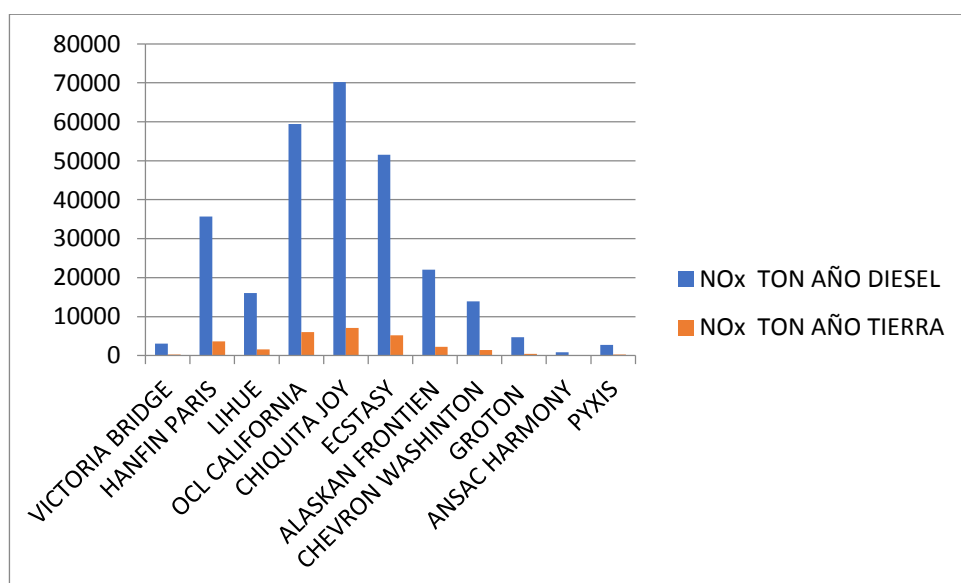


Figura 9.6.1. Emisiones de NOx anuales en STS en puerto de Los Ángeles a partir de gas natural

En la tabla 9.6.2 se muestran las emisiones anuales de SOx producidas para el caso de generar la energía eléctrica suministrada en STS a los buques objeto del estudio a partir de gas natural.

Emisiones de SOx por generar la energía suministrada STS con gas natural		
BUQUE	MM.AA (t/año)	STS (t/año)
VICTORIA BRIDGE	121	2
HANFIN PARIS	1.391	21
LIHUE	625	10
OCL CALIFORNIA	2.315	35
CHIQUITA JOY	2.737	41
ECSTASY	2.009	30
ALASKAN FRONTIEN	860	13
CHEVRON WASHINTON	541	8
GROTON	185	3
ANSAC HARMONY	34	1
PYXIS	106	2

Tabla 9.6.2. Emisiones de SOx anuales en STS en puerto de Los Ángeles a partir de gas natural

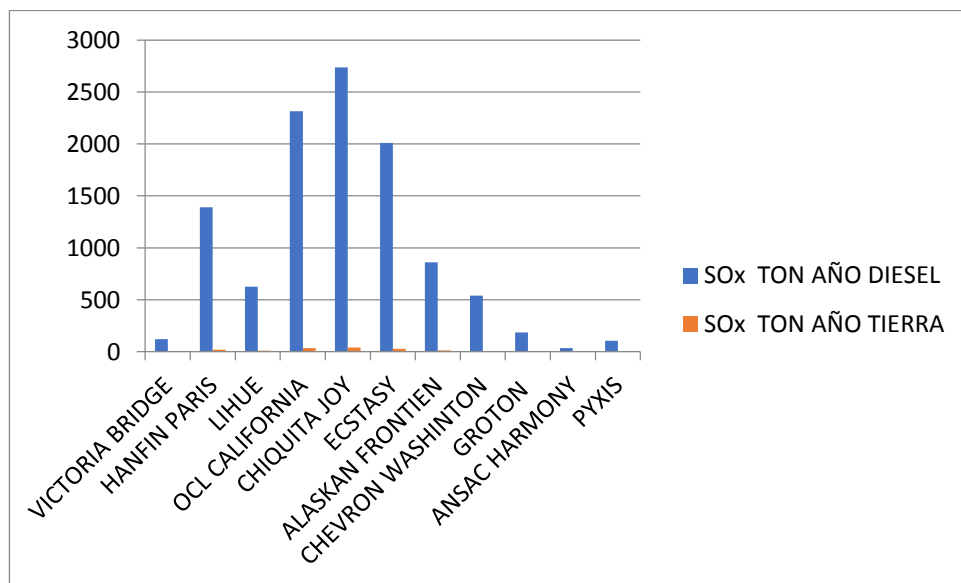


Figura 9.6.2. Emisiones de SOx anuales en STS en puerto de Los Ángeles a partir de gas natural

9.7 Origen de la producción eléctrica en España

Saber el origen de la producción eléctrica es importante desde el punto de vista de la conciencia mediambiental y la comparación con las emisiones del generador a bordo para saber así la efectividad del sistema Shore-To-Ship. En la siguiente figura 9.7.1 se muestra la distribución de la producción eléctrica española en función de cómo se ha obtenido.

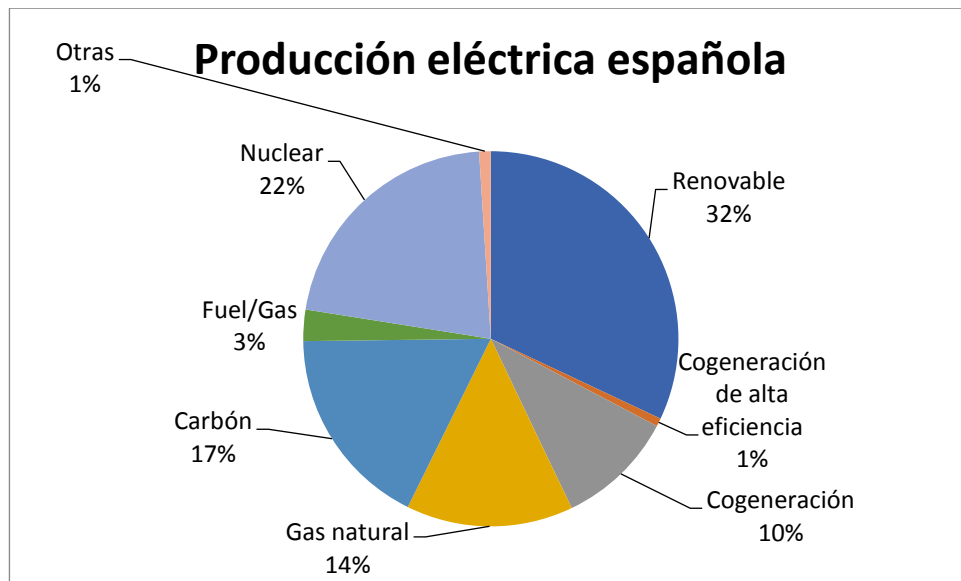


Figura 9.7.1 – Distribución de la producción eléctrica en España según la fuente primaria
Fuente: Red Eléctrica Española (2019)

Analizando el porcentaje de energía eléctrica generada por las distintas centrales eléctricas, se resalta el 3 % de la producción eléctrica es mediante fuel/gas que se podría asimilar sus emisiones a la generadas por el generador de a bordo de un buque en puerto o maniobras. Destaca también que el 32 % de la producción de energía eléctrica es renovable. Esta energía desde el punto de vista de la producción de emisiones representa la optimalización máxima para una conexión del buque a tierra por medio de STS.

10 CASO PRÁCTICO: BUQUE TIPO ROLL ON ROLL OFF

En este capítulo se tratará la aplicación de una de las opciones disponibles en el mercado para la reducción de emisiones a la atmósfera de un buque en puerto. Se trata de un proyecto ya utilizado en un buque en el que el autor ejerce funciones profesionales como Oficial de Máquinas de la Marina Mercante.

El proyecto se ha titulado “*LNG powered electricity generator mobile unit onshore power supply*” y se le ha asignado el código EPT-1. Los participantes en el mismo son la Autoridad del Puerto de Barcelona, HAM Criogénica S.L., Flota Suardiaz, S.L., Guascor, Dresser Rand, Bureau Veritas y Gas Natural Fenosa (Naturgy).

10.1 Descripción del buque Ro-Ro

Se trata de un buque de cargada rodada automatizado con capacidad para 110 plataformas pudiendo transportar hasta 69 remolques frigoríficos con equipo autónomo cuyas principales características de diseño se listan en la tabla 10.1.1.

Especificaciones del buque Ro-Ro del proyecto EPT1		
Eslora total aproximada	142,00	m
Eslora entre perpendiculares	132,00	m
Manga de trazado	21,00	m
Puntal a la cubierta principal	7,00	m
Puntal a la cubierta superior	12,44	m
Calado máximo	6,00	m
Arqueo Bruto	15.222,00	t
Potencia de propulsión	12.960,00	kW
Tanques de agua de lastre	2.371,40	m ³
Tanques de combustible pesado	854,40	m ³
Tanques de combustible ligero	99,90	m ³
Tanques de aceite lubricante	50,70	m ³
Volumen espacios vacíos	1.621,70	m ³
Tanques de agua dulce	140,10	m ³

Tabla 10.1.1 – Especificaciones del buque Ro-Ro del proyecto EPT1 ^[40]

La distribución del buque es longitudinal tanto en los espacios de carga como el destinado a la habilitación. Las bodegas se dividen en cubiertas disponiendo las tres primeras bodegas de plataformas móviles denominadas “car-decks” que permiten aumentar la carga de automóviles.

Las diferentes cubiertas se comunican entre sí mediante rampas móviles accionadas por dispositivos hidráulicos, que una vez izadas y trincadas pasan a ser partes estructurales del buque, formando parte del plan de cada cubierta. La carga rodada se realiza a través de una compuerta de 15,2 metros.

La propulsión del buque está formada por dos hélices de paso variable accionadas por dos motores MAN-B&W del tipo 9L40/54 diésel de cuatro tiempos, sobrealimentados dispuestos para funcionar con combustible pesado y capaces de suministrar una potencia efectiva máxima continua de 6.480 kW cada uno. También dispone de una hélice de maniobra a proa accionada por motor eléctrico.

La planta eléctrica está compuesta por dos generadores STAMFORD accionados por sendos motores auxiliares CARTEPILLAR DITA diésel de 8 cilindros en V sobrealimentados y con 910 CV efectivos cada uno. Además está equipado con dos generadores de cola que durante la navegación proporcionan la energía eléctrica necesaria. El buque dispone de un generador de emergencia accionado mediante un motor de combustión interna de la marca GUASCOR del tipo H66T de una potencia de 150 kW.

10.2 Descripción del proyecto

El objetivo del proyecto es la conexión a tierra para el suministro de energía eléctrica terrestre móvil alimentada por GNL permitiendo la parada de los generadores diesel auxiliares a bordo. La idea principal del proyecto se esquematiza en la figura 10.2.1.

La readaptación del buque Ro-Ro consiste principalmente en la instalación de cableado y de un transformador de 11.000 V a 400 V en un pañol de una cubierta intermedia. El aspecto final de su instalación se muestra en la figura 10.2.2.

Además del transformador se necesita la conexión del mismo al cuadro de barras y, lógicamente, la readaptación del cuadro de sincronismo.

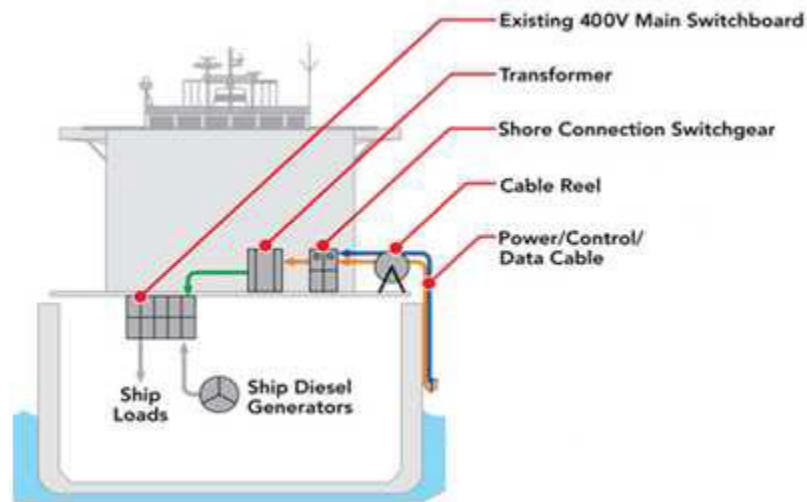


Figura 10.2.1 - Esquematación del proyecto de suministro de corriente a buque desde tierra
Fuente: EINESA Ingeniería (2017) ^[40]



Figura 10.2.2 – Ubicación del transformador 11 kV - 400 V para el sistema STS

En la parte de tierra es necesaria la instalación de la unidad de generación consistente en un alternador de 11 kV accionado por un motor que consume gas natural vaporizado pero almacenado en estado líquido en un tanque criogénico. La disposición general del conjunto se puede ver en el plano de la figura 10.2.3

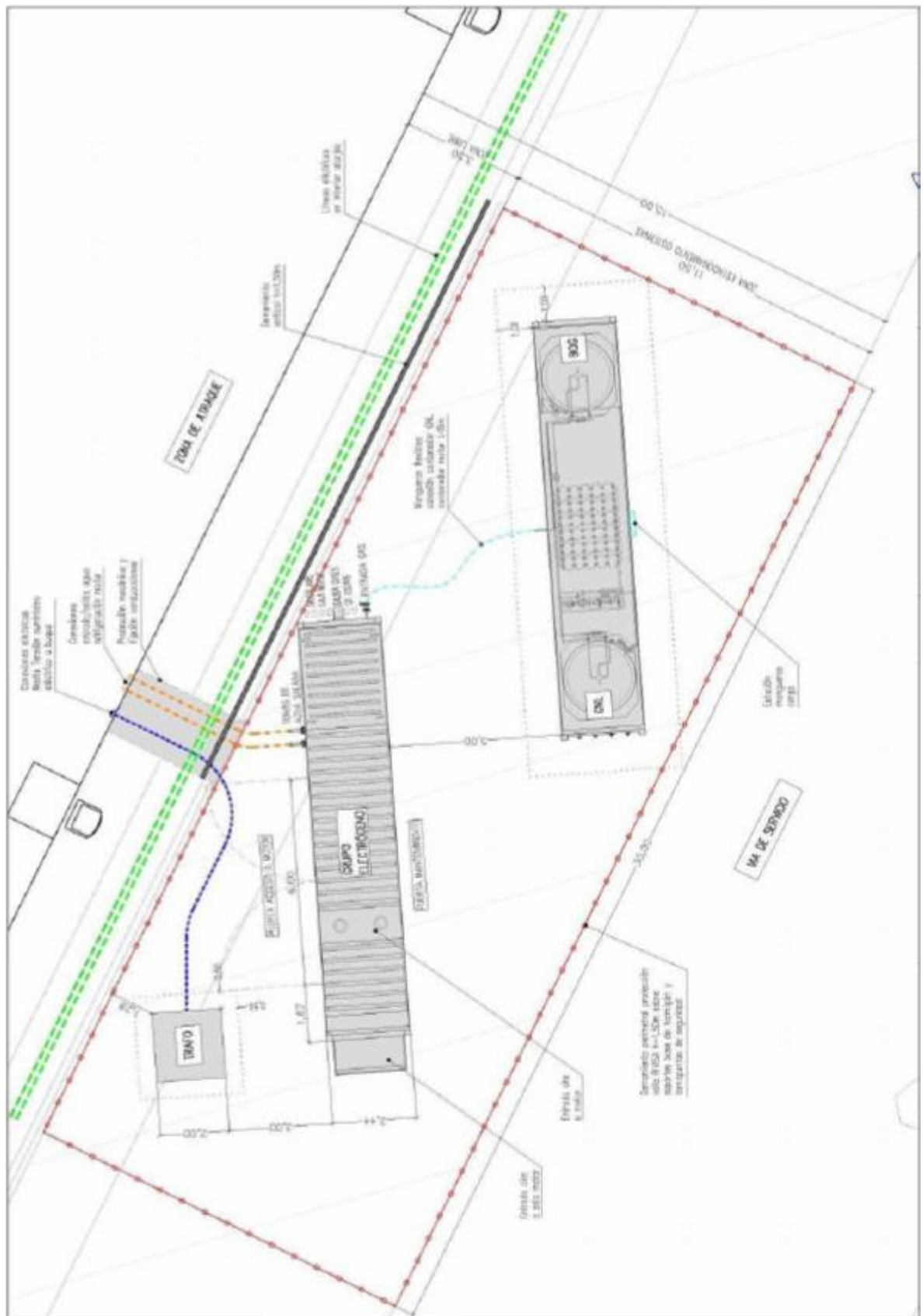


Figura 10.2.3 - Plano del proyecto de suministro de corriente a buque desde tierra
Fuente: EINESA Ingeniería (2017) ^[40]

10.3 Características de la unidad de generación

Los componentes principales de la unidad de generación son:

- 1) Grupo electrógeno de 826 kW alimentado por GNL
- 2) Sistema de refrigeración (agua dulce – agua salada)
- 3) Depósito GNL de 5 m³ (para una estancia en puerto de un buque)
- 4) Unidad de vaporizador / alimentación de gas natural al motor
- 5) Interfaz eléctrica de conexión con el buque
- 6) Unidad de control

10.3.1 Generador de energía eléctrica

En las figuras 10.3.1.1 se puede ver el aspecto exterior del contenedor del grupo electrógeno del cual se listan las especificaciones en la tabla 10.3.1.1. En la figura 10.3.1.2 y tabla 10.3.1.2 se ofrecen más detalles del motor de accionamiento.



Figura 10.3.1.1 - Vista del exterior del contenedor del generador
Fuente: EINESA Ingeniería (2017) ^[40]

Especificaciones del contenedor del generador		
Longitud	12,192	m
Anchura	2,438	m
Altura	2,896	m
Peso	22,000	t

Tabla 10.3.1.1 - Especificaciones del contenedor del generador
Fuente: EINESA Ingeniería (2017) ^[40]



Figura 10.3.1.2 - Vista del interior del contenedor del generador eléctrico
Fuente: Dresser-Rand Guascor Engines ^[35]

Especificaciones del generador eléctrico		
Marca	Dresser-Rand-Guascor	
Modelo	SFGLD560	
Potencia efectiva	850	kW
Potencia eléctrica	826	kW
Tensión	400	V
Velocidad angular	1500	rpm
Consumo GNL	2173	kW
Eficiencia eléctrica	38	%
Calor Enfriador HT	622	kW
Calor Enfriador LT	160	kW
Calor Enfriador Aire	61	kW
Calor Enfriador Aceite	31	kW
Calor Gases de Escape	510	kW
Calor por Radiación	31	kW
Temperatura Gases Escape	403	°C
Consumo Aire Admisión	4060	kg/h
Consumo de Agua HT	80	m ³ /h
Temperatura de Agua HT	90	°C
Consumo de Agua LT	20	m ³ /h
Temperatura de Agua LT	40	°C

Tabla 10.3.1.2 - Especificaciones del generador eléctrico
Fuente: EINESA Ingeniería (2017) ^[40]

10.3.2 Unidad de almacenamiento y gasificación de GNL

En la figura 10.2.3 ya se ha visto que la unidad de almacenamiento y gasificación de GNL se dispone paralela al contenedor del grupo electrógeno. El aspecto exterior se puede ver en la figura 10.3.2.1 y el interior en la figura 10.3.2.2.



Figura 10.3.2.1 - Vista exterior del contenedor de GNL-GN de la casa HAM
Fuente: José Manuel Rodríguez Crespo

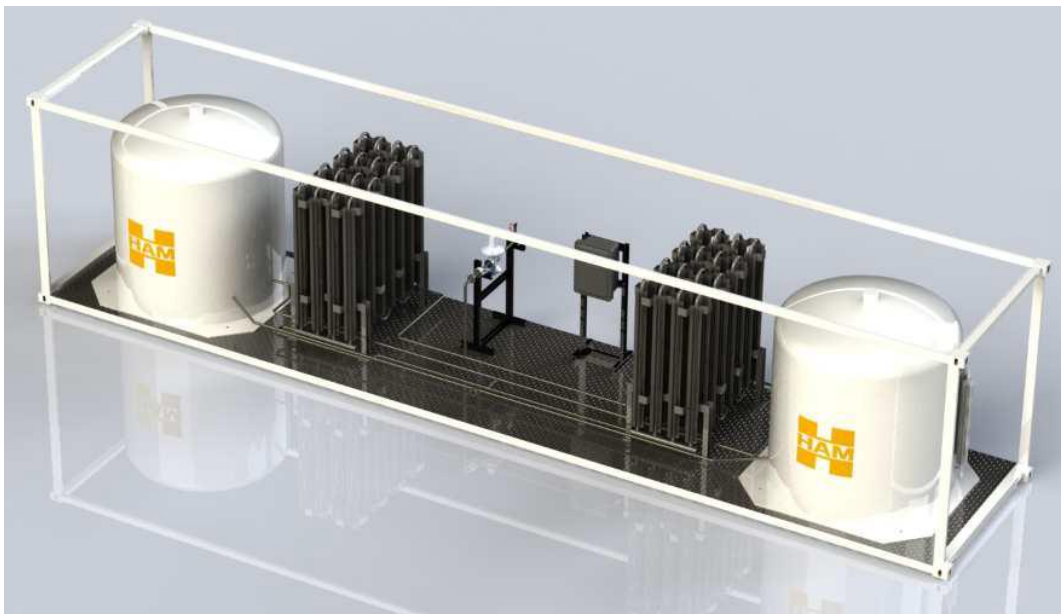


Figura 10.3.2.2 - Disposición interior del contenedor de GNL-GN de la casa HAM
Fuente: EINESA Ingeniería (2017) ^[40]

Consta de los siguientes elementos:

1) Tanques de almacenamiento

- 2 unidades de 5 m³ GNL + 5 m³ BOG
- La temperatura de almacenamiento del GNL es de -160 °C
- La presión de diseño 8 bar
- Compensación automática de presión
- Transmisores de presión y temperatura

2) Utilidades de carga

- Acople rosca de tipo ENAGAS 1 ½"
- Toma de tierra para cisterna
- Llenado superior e inferior
- Protección sobrellenado por cierre de válvulas automáticas

3) Sistema de regasificación

- Regulación y odoración
- Capacidad de regasificación 180 Nm³/h
- Válvula de seguridad en frío para parada de planta mediante detección de mínima temperatura de gas
- Línea de salida con regulación de presión equipada con filtro y válvulas de aislamiento

4) El sistema de control de la unidad

- PLC y panel de control automático que gestiona informaciones de temperaturas, niveles y presiones
- Gestión automática de avisos y alarmas
- Interfaz usuario mediante pantalla táctil para visualización parámetros
- Modulo de envío de alarmas vía SMS

5) Sistema de seguridad y fiabilidad

- Paro automático en caso de baja temperatura en la zona criogénica
- Doble válvula automática de cierre de la planta (redundancia mecánica, eléctrica y automática)
- Triple transmisor de temperatura que actúa sobre la seguridad en frío
- Válvula de seguridad alivio presión a través línea de ventilación

- Línea ventilación en punto alto, con pararrayos y apagallamas
- Tramo de tuberías entre válvulas de corte provistas de una válvula de alivio térmico

6) Sistema dual de conexión del sistema

- Conexión a cisterna mediante mangueras criogénicas: bridas externas del contenedor con roscas ENAGAS específicas
- Conexión contenedor mediante manguera criogénica con bridas en los extremos

En la figura 10.3.2.3 se puede ver cómo el fabricante HAM integra mediante SCADA sobre pantalla táctil el control remoto del sistema de almacenamiento y gasificación en el cuadro de sincronismo y acoplamiento a tierra del buque. A continuación se ofrecen algunos datos relativos a la estimación del consumo de GN del buque y de la capacidad de almacenamiento del GNL en el muelle:

Capacidad del depósito de GNL: 5 m³

Permanencia del buque en puerto: 8 h

Frecuencia: 1 estancia por semana

Consumo GNL estimado: de 3 a 4 m³



Figura 10.3.2.3 – Cuadro de sincronismo y acoplamiento STS con pantalla táctil

CONCLUSIONES

El suministro de energía eléctrica a buques para que detengan sus grupos generadores reduce mucho las emisiones contaminantes en el entorno portuario.

Es necesaria una infraestructura en las instalaciones portuarias, readaptación en los buques que no dispongan de esta tecnología y una oferta de energía eléctrica en red local de tierra para garantizar en todo momento la demanda en buques y demás consumidores sin que afecte a la estabilidad y seguridad de suministro eléctrico. La demanda de potencia en puerto va a ir en aumento en los próximos años incluso podría tener unos picos de demanda elevados en algunos puertos dependiendo del tráfico y tipo de buques.

La parada de los motores auxiliares implica reducción de gastos en mantenimiento y coste del consumo eléctrico; también implica mayor confort en sala de máquinas durante la estancia en puerto para los trabajadores.

Por otra parte, si se quiere reducir significativamente la huella ecológica en el entorno portuario y mejorar la eficiencia, se hace obligatoria la utilización de GNL como fuente de energía en las plantas de generación. Por ello se están construyendo infraestructuras para suministro, almacenamiento y regasificación de GNL en los puertos aunque de menor tamaño que las terminales típicas.

Por experiencia propia del autor, al haber utilizado esta tecnología y participado en la obra de adaptación y pruebas de un buque mercante, opina que es una opción de reducción de emisiones de gases óptima para buques ya construidos y que se puede implementar fácilmente en instalaciones portuarias gracias a las unidades situadas en contenedores convencionales

REFERENCIAS

1. ANAVE (2018) - **“Reducir a cero las emisiones de CO₂: el «acuerdo de París» para el transporte marítimo”**
Revista “Tribuna Profesional” – Ed. ANAVE – Septiembre 2018 – Páginas 16-22
Fecha de consulta – Noviembre 2018
https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2018/tribuna_bia0918.pdf
2. ANAVE (2017) - **“El sector marítimo sigue comprometido a la reducción de sus emisiones de CO₂”**
Revista “Tribuna Profesional” – Ed. ANAVE – Noviembre 2017 – Páginas 15-19
Fecha de consulta – Noviembre 2018
https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2017/tribuna_bia1117.pdf
3. LÓPEZ, G. (2017) - **“Proyectos en marcha sobre sistemas de suministro de GNL como combustible para buques”**
Revista “Tribuna Profesional” – Ed. ANAVE – Septiembre 2017 – Páginas 15-17
Fecha de consulta – Noviembre 2018
https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2017/tribuna_bia0917.pdf
4. CARLIER, M. (2017) - **“El transporte marítimo acepta el reto de avanzar hacia su descarbonización”**
Revista “Tribuna Profesional” – Ed. ANAVE – Noviembre 2017 – Páginas 15-20
Fecha de consulta – Noviembre 2018
https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2017/tribuna_bia1117.pdf
5. ANAVE (2015) - **“El transporte marítimo mundial está obteniendo reducciones reales de sus emisiones de CO₂”**
Revista “Tribuna Profesional” – Ed. ANAVE – Octubre 2015 – Páginas 17-20
Fecha de consulta – Noviembre 2018
https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2017/tribuna_bia1015.pdf
6. GUERRERO, L. (2014) - **“Suardiaz: remotorización de car carrier y desarrollo de gabarra para bunker LNG”**
Revista “Tribuna Profesional” – Ed. ANAVE – Mayo 2014 – Páginas 23-25
Fecha de consulta – Noviembre 2018
https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/trib%20mayo%202014-1.pdf
7. DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA (2005) - **“Directiva 2005/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de julio de 2005 por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo”**
Fecha de consulta – Noviembre 2018
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005L0033&from=EN>

8. IMO (1997) - **“Adopción: 1973 (Convenio MARPOL), 1978 (Protocolo de 1978), 1997 (Protocolo - Anexo VI); entrada en vigor 2 de octubre de 1983 (Anexos I-II).”**
Fecha de consulta – Noviembre 2018
[http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/es/About/Conventions/ListOfConventions/Paginas/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
9. IMO (2015) - **“Third IMO Green House Gases Study 2014. Executive Summary and Final Report”**
Fecha de consulta – Noviembre 2018
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>
10. MTE-GE (2018) - **“SOx (Óxidos de Azufre) – Registro Estatal de Emisiones y fuentes contaminantes”**
Fecha de consulta – Enero 2019
<http://www.ptr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html>
11. MTE-GE (2018) - **“NOx (Óxidos de Nitrógeno) – Registro Estatal de Emisiones y fuentes contaminantes”**
Fecha de consulta – Enero 2019
<http://www.ptr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>
12. INEGA (2016) - **“Programas de gestión energética en los sectores industrial y primario”**
Fecha de consulta – Enero 2019
<http://www.inega.gal/eficienciaenergetica/industrialprimario.html?idioma=es>
13. VACAS, L. (2012) - **“Análisis de la nueva normativa OMI sobre eficiencia energética (EEDI/SEEMP)”**
TFC – Diplomatura en Máquinas Navales - UPC – Septiembre 2012
Fecha de consulta – Enero 2019
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16382/Vacas_Forns_Luis_TFC.pdf
14. YFANTIS, E.A. (2016) - **“NOx reduction technologies for marine diesel engines. Operational, Environmental and Economical aspects”**
International Conference “Green Transportation” – Junio 2016
Fecha de consulta – Mayo 2019
<https://slideplayer.com/slide/12440096/>
15. RAPTOTASIOS, S.I. (2015) - **“Application of a Multizone Combustion Model to Investigate the NOx Reduction Potential of Two-Stroke Marine Diesel Engines Using EGR”**
Revista “Applied Energy” N° 157 – Junio 2015 – Páginas 814-823
Fecha de consulta – Mayo 2019
<https://es.scribd.com/document/347489555/Application-of-a-Multi-zone-Combustion-Model-to-Investigate-the-NOx-Reduction-Potential-of-Two-stroke-Marine-Diesel-Engines-Using-EGR-2015-雅典理工大学4T50>

16. TREMULI, P. (2008) - **“Development and Perspectives of Marine Engines, Clean Combustion and Greenhouse Gases”**
Clean Combustion and Greenhouse Gases - Wärtsilä EuDA Presentation Brussel – Nov-2008
Fecha de consulta – Mayo 2019
http://www.european-dredging.eu/pdf/WARTSILA_presentation.pdf
17. GARCÍA, N. (2017) - **“Estudio de dimensionamiento de una instalación de suministro de energía eléctrica a buques desde tierra basada en la tecnología On Shore Power Supply”**
TFM – Máster en Ingeniería Naval y Oceánica - UPCT – Junio 2017
Fecha de consulta – Enero 2019
<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6097/tfm-gar-est.pdf>
18. WINKEL, R (2015) - **“Potential for shore side electricity in Europe”**
European Commission – Final Report – Julio 2017
Fecha de consulta – Marzo 2019
<https://studylib.net/doc/18686705/potential-for-shore-side-electricity-in-europe>
19. PAPOUTSOGLOU, T. (2012) - **“A cold ironing on modern ports, implementation and benefits thriving for worldwide ports”**
School of Naval Architecture & Marine Engineering-National - Technical University of Athens
Fecha de consulta – Marzo 2019
http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/6970/papoutsoglout_amp.pdf?sequence=3
20. CAVOTEC (2009) - **“Alternative Maritime Power supply. Solutions for a clean environment ship-and-shore-side”**
Cavotec Global Engineering Group – Noviembre 2009
Fecha de consulta – Marzo 2019
[http://www.ops.wpci.nl/images/downloads/original/1266311403_ampshipandshoreside2009november\[modalit%C2%A0compatibilit%C2%A0\].pdf](http://www.ops.wpci.nl/images/downloads/original/1266311403_ampshipandshoreside2009november[modalit%C2%A0compatibilit%C2%A0].pdf)
21. GARCÍA, F. (2017) - **“El suministro de energía eléctrica a buques desde centrales de generación con GNL para mejorar la huella ecológica en puertos”**
UPM – ETS de Ingenieros Navales – Universidad Politécnica de Madrid – Septiembre 2017
Fecha de consulta – Marzo 2019
<https://docplayer.es/61673708-El-suministro-de-energia-electrica-a-buques-desde-centrales-de-generacion-con-gnl-para-mejorar-la-huella-ecologica-en-puertos.html>
22. GARCÍA, A. (2018) - **“Estudio sobre la reducción de emisiones NOx y SOx”**
TFG – Grado en Ingeniería Marina - UC – Octubre 2018
Fecha de consulta – Marzo 2019
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15456/García%20Coterillo%2C%20Aída.pdf>
23. CAMARA DE COMERCIO DE ZARAGOZA (2012) - **“Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones”**
Departamento Medioambiental de Aragón - Octubre 2012
Fecha de consulta – Marzo 2019
<https://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2012/10/calculoemisiones.xls>

24. SEAN, G. (2008) - **"Port of Long Beach Pier T Berth T121. BP Cold ironing Project For Alaska Class Tankers"**
Port of Long Beach - Program Manager - Junio 2017
Fecha de consulta – Marzo 2019
<http://www.polb.com/civica/filebank/blobdload.asp?BlobID=5782>
25. YOGI, O (2014) - **"Cost and benefit analysis of shore side electricity in the Port of Tanjung Perak, Indonesia"**
World Maritime University Dissertations - 2014
Fecha de consulta – Abril 2019
https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1480&context=all_dissertations
26. ERICSSON, P. (2008) - **"Shore Side Power Supply. A feasibility study and technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port"**
Masters Program in Electric Power Engineering – Chalmers University of Technology - 2008
Fecha de consulta – Abril 2019
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174062/174062.pdf>
27. BARRENECHEA, A. (2017) - **"Reykjavik Harbor System Analysis: Shore Side Electricity Connections for Containerships in The Eimskip Terminal"**
Master of Science in Sustainable Energy Science - Reykjavík University – Junio 2017
Fecha de consulta – Abril 2019
<https://skemman.is/bitstream/1946/28733/1/Thesis.Barrenechea.Alfonso.pdf>
28. TRAIN MoS II (2015) - **"Onshore Power Supply and LNG"**
On the MoS way – Motorways of the Sea – Junio 2015
Fecha de consulta – Abril 2019
<https://www.onthemosway.eu/wp-content/uploads/2015/06/2-OPS-LNG-.pdf>
29. JIVEN, C. (2004) - **"Shore-Side Electricity for Ships in Ports. Case studies with estimates of internal and external cost prepared for the North Sea Commission"**
MariTermAB – Julio 2004
Fecha de consulta – Abril 2019
<https://www.onthemosway.eu/wp-content/uploads/2015/06/2-OPS-LNG-.pdf>
30. CME (2018) - **"Suministro eléctrico en el puerto, una alternativa viable y necesaria"**
Clúster Marítimo Español – Junio 2018
Fecha de consulta – Mayo 2019
<https://www.clustermaritimo.es/2018/06/06/suministro-electrico-en-el-puerto-una-alternativa-viable-y-necesaria/>
31. WALSTROOM (2008) - **"Shore to ship plugging technologies"**
Utiliq New Ways of Energy – Walstroom Power and Water – 2008
Fecha de consulta – Mayo 2019
https://www.ccr-zkr.org/temp/wrshp120411/Informations/brochure_Utiliq_en_RBevelander.pdf

32. MAN-B&W (1997) - **“Emission control of Two-stroke Low-Speed Diesel Engines”**
Publicación Técnica de MAN B&W Diesel A/S - Diciembre 1997
Fecha de consulta – Mayo 2019
www.flamemarine.com/files/MANBW.pdf
33. HONG, L. (2017) - **“The 2020 IMO fuel sulphur regulation”**
Seatrade Maritime News - Septiembre 2017
Fecha de consulta – Mayo 2019
http://www.seatrade-maritime.com/images/PDFs/SOMWME-whitepaper_Sulphur-p2.pdf
34. DEWAN, M. (2015) - **“MARPOL Annex VI – Chapter 1-3: Air Pollution and GHG Emissions from International Shipping”**
Fecha de consulta – Mayo 2019
<https://www.slideshare.net/MohammudHanifDewan/marpol-annex-vi-chapter-13-air-pollution-and-ghg-emissions-from-international-shipping>
35. DE LA VEGA, P. (2015) - **“Dresser-Rand. Guascor Engines and Gensets”**
Fecha de consulta – Mayo 2019
<http://www.cogenspain.org/wp-content/uploads/2015/12/Emisiones-Pablo-de-la-Vega-Dresser-Rand-A-Siemens-Business-V1.pdf>
36. BOE (2013) - **“Enmiendas de 2012 al Anexo del Protocolo de 1997, que enmienda el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, adoptadas en Londres el 2 de marzo de 2012 mediante la Resolución MEPC.21”**
«BOE» núm. 260, de 30 de octubre de 2013 – páginas 87582 a 87584
Fecha de consulta – Mayo 2019
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-11334
37. SCHNEIDER ELECTRIC (2018) - **“ShoreBox™: Shore connection for ships at berth. Plug in to green power”**
Fecha de consulta – Mayo 2019
https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Brochure&p_File_Name=998-3606_GMA-GB_2.3.pdf&p_Doc_Ref=998-3606_GMA-GB
38. DE LA CUEVA, J. (2018) - **“Encuentro con la mar: “El suministro eléctrico en atraque OPS, ¿es una alternativa necesaria y viable?”**
Fecha de consulta – Mayo 2019
Clúster Marítimo Español (CME)
<https://www.clustermaritimo.es/2018/05/11/encuentro-con-la-mar-el-suministro-electrico-en-atraque-ops-es-una-alternativa-necesaria-y-viable/>
39. PANASIA (2018) - **“Overview of the PaSOx: SOx scrubbing systems for ships”**
Fecha de consulta – Mayo 2019
http://www.worldpanasia.com/pan-asia2015/eng/business/sub4_2.php
40. EINESA INGENIERÍA (2017) - **“EPT1-LNG powered electricity mobile unit on shore power supply”**
Proyecto de ingeniería para el muelle de Bouzas – Junio 2017
Fecha de consulta – Enero 2018