

# **Sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) del buque Villa de Teror**

**Trabajo Fin de Grado**

Grado en Tecnologías Marinas

Julio de 2021

Autor:

**Roberto Pérez Díaz**

78.564.226K

Tutor:

Prof. Dr. Juan Toribio Morales Darias

**Escuela Politécnica Superior de Ingeniería**

**Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval**

Universidad de La Laguna

D. Juan Toribio Morales Darias, Profesor de la UD de Ingeniería Marítima, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Roberto Pérez Díaz** con **DNI 78564226K**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) del buque Villa de Teror**.

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

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

En Santa Cruz de Tenerife a 05 de Julio de 2021.

Fdo.: Juan Toribio Morales Darias.

Director del trabajo.



## Resumen

La contaminación es una de las mayores preocupaciones de la sociedad contemporánea. El desarrollo de la tecnología es una de las causas, pero también puede ayudar a solucionar parte del problema. Las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna alternativos; en concreto, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y los hidrocarburos (HC) sin quemar son una parte importante de la contaminación total liberada a la atmósfera.

Actualmente con sólo unas pocas excepciones, la flota mundial es impulsada por el petróleo y las normas internacionales para la reducción de la contaminación atmosférica por parte de los motores marinos son cada vez más estrictas con el fin de que la flota mercante sea más respetuosa con el medio ambiente.

Son muchos los procedimientos y sistemas que se utilizan actualmente para cumplir con la normativa. Dichos procedimientos van desde utilizar combustibles más limpios, mediante técnicas de control de la combustión o mediante sistemas de postratamiento de los gases de escape.

El presente trabajo se centra en uno de los sistemas de postratamiento de los gases de escape, en concreto de un sistema de reducción catalítica selectiva o SCR (según sus siglas en inglés) instalado en el buque Villa de Teror.

## **Abstract**

Pollution is one of the greatest concerns of contemporary society. The development of technology is one of the causes, but it can also help solve part of the problem. Pollutant emissions from alternative internal combustion engines; in particular, carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), unburned hydrocarbons (HC) are an important part of the total pollution released into the atmosphere.

Currently with only a few exceptions, the world fleet is powered by oil and international standards for reducing air pollution from marine engines are increasingly stringent in order to make the merchant fleet more environmentally friendly.

Many procedures and systems are currently used to comply with regulations. These procedures range from using cleaner fuels, through combustion control techniques or through exhaust gas after-treatment systems.

The present work focuses on one of the exhaust gas post-treatment systems, specifically a selective catalytic reduction system or SCR (according to its acronym in english) installed on the Villa de Teror ship.

# ÍNDICE

<b>Resumen</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Índice de ilustraciones</b> .....	<b>9</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>12</b>
<b>Glosario de abreviaturas</b> .....	<b>13</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
1.1. Los óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) .....	17
1.2. Sistemas de reducción de emisiones de NO <sub>x</sub> .....	20
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>26</b>
2.1. Objetivo general .....	26
2.2. Objetivos específicos.....	26
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>27</b>
3.1. Detalles del buque.....	27
3.2. Motores Principales .....	30
3.3. Motores Auxiliares .....	33
3.4. Sistema SCR .....	36
3.4.1. Tanques.....	37
3.4.2. Estación de bombeo .....	37

3.4.3.	Unidad de distribución y control de presión .....	39
3.4.4.	Unidades de dosificación .....	40
3.4.5.	Mecanismo de inyección y mezcla .....	42
3.4.5.1.	Lanza de inyección .....	43
3.4.5.2.	Dispositivo de mezcla .....	44
3.4.6.	Caja del reactor .....	45
3.4.6.1.	Instalación de los módulos catalizadores .....	50
3.4.6.2.	Limpieza de los catalizadores .....	51
3.4.7.	Cuadro Analizador de NO <sub>x</sub> .....	52
3.4.8.	Cuadro de Control SCR .....	55
3.5.	Método .....	58
3.5.1.	Proceso químico .....	58
3.5.2.	Funcionamiento .....	60
3.5.3.	Modos de operación .....	64
3.5.3.1.	Modo “Stand by” .....	64
3.5.3.2.	Modo Arranque “Refrigeración/Limpieza” .....	65
3.5.3.3.	Modo “Dosificación” .....	65
3.5.3.4.	Modo “Parar a Stand by” .....	65
3.5.3.5.	Modo “Apagado” .....	66
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>

**6. BIBLIOGRAFÍA.....74**

**Anexos.....77**

1.	Anexo I. Convenio MARPOL.....	77
2.	Anexo II. Ciclos de ensayo y factores de ponderación.....	83
3.	Anexo II. Certificado IAPP.....	85
4.	Anexo III. Certificado EIAPP.....	91
5.	Anexo III. Lista de fallos y alarmas.....	94

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Composición de los gases de escape de un motor diésel.....	17
Ilustración 2: Temperaturas de formación de los NO <sub>x</sub> .....	19
Ilustración 3: Variación de las emisiones de NO <sub>x</sub> , el consumo de combustible y las partículas en función del ángulo de comienzo de la inyección y la presión de inyección. ....	20
Ilustración 4: Tipos de cámaras de combustión en motores diésel .....	22
Ilustración 5: Esquema de inyección de agua directamente en la cámara de combustible .....	23
Ilustración 6: Esquema de inyección de agua en el sistema de admisión de aire ....	23
Ilustración 7: Esquema del proceso TYCO.....	24
Ilustración 8: Esquema del proceso con hidróxido de magnesio .....	25
Ilustración 9: El 16 de marzo de 2017 en los astilleros de Factorías Vulcano S.A. ...	27
Ilustración 10: Realizando los trabajos en el astillero de Factorías Vulcano S.A.....	28
Ilustración 11: En el puerto de Santa Cruz de Tenerife el 4 de junio de 2020 .....	28
Ilustración 12: Motor principal de estribor.....	30
Ilustración 13: Motor principal de estribor.....	31
Ilustración 14: Motor principal de babor.....	32
Ilustración 15: Motor principal de babor.....	33
Ilustración 16: Motor auxiliar nº1 .....	33
Ilustración 17: Motor auxiliar nº2 .....	34

Ilustración 18: Motor auxiliar nº3 .....	35
Ilustración 19: Esquema del sistema SCR.....	36
Ilustración 20: Esquema de estación de bombeo .....	37
Ilustración 21: Estación de bombeo.....	38
Ilustración 22: Esquema de unidad de distribución y control de presión .....	39
Ilustración 23: Unidad de distribución y control de presión.....	39
Ilustración 24: Esquema de la unidad de dosificación .....	40
Ilustración 25: Unidad de dosificación .....	41
Ilustración 26: Esquema de lanza de inyección.....	43
Ilustración 27: Lanza de inyección.....	43
Ilustración 28: Esquema del dispositivo de mezcla .....	44
Ilustración 29: Esquema de la caja reactor.....	45
Ilustración 30: Cajas del reactor de MM.AA.....	46
Ilustración 31: Caja del reactor de M.P y los sopladores de hollín .....	47
Ilustración 32: Módulos catalizadores.....	48
Ilustración 33: Temperaturas de los catalizadores más utilizados.....	48
Ilustración 34: Esquema de colocación de los módulos catalizadores .....	51
Ilustración 35: Esquema del armario del analizador de NO <sub>x</sub> .....	53
Ilustración 36: Armario del analizador de NO <sub>x</sub> .....	54
Ilustración 37: Sonda de muestra de los gases de escape .....	54

Ilustración 38: Analizador de NO <sub>x</sub> modelo BA 5000 de Bühler Technologies.....	55
Ilustración 39: Esquema del cuadro de control.....	56
Ilustración 40: Cuadro de control.....	57
Ilustración 41: Proceso de reducción catalítica selectiva (SCR).....	59
Ilustración 42: Relación entre la temperatura de los gases de escape y el contenido de azufre en el combustible.....	60
Ilustración 43: Tablero de interruptores del cuadro de control.....	61
Ilustración 44: Dirección de colocación de la lanza de inyección .....	63
Ilustración 45: Válvulas de soplado de hollín del reactor .....	63
Ilustración 46: Sensores de temperatura a la entrada y salida del reactor .....	64
Ilustración 47: Propiedades física de la urea.....	67
Ilustración 48: Datos de reducción de emisión de NO <sub>x</sub> del M.A. n°1 .....	68
Ilustración 49: Datos de reducción de emisión de NO <sub>x</sub> del M.A. n°2 .....	69
Ilustración 50: Datos de reducción de emisión de NO <sub>x</sub> del M.A. n°3 .....	69
Ilustración 51: Curva de consumo de urea del M.A. n°1.....	71
Ilustración 52: Curva de consumo de urea del M.A. n°2.....	71
Ilustración 53: Curva de consumo de urea del M.A. n°3.....	72
Ilustración 54: Niveles de emisiones permitidos.....	80
Ilustración 55: Zonas ECA.....	81

## Índice de tablas

Tabla 1: Características del buque .....	29
Tabla 2: Datos técnicos de los MM.PP. Wartsilä W8L46F-CR .....	32
Tabla 3: Datos técnicos de los MM.AA. Wartsilä W6L20.....	35
Tabla 4: Concentración máxima de tóxicos admisibles en el catalizador .....	52
Tabla 5: Resultado de la reducción de los NO <sub>x</sub> en los MM.AA.....	70
Tabla 6: Costes de inversión y explotación de los sistemas SCR y EGR en motores diésel de 2 y 4 tiempos.....	73
Tabla 7: Niveles de emisión de NO <sub>x</sub> en el Nivel I.....	79
Tabla 8: Niveles de emisión de NO <sub>x</sub> en el Nivel II.....	79
Tabla 9: Niveles de emisión de NO <sub>x</sub> en el Nivel III.....	79
Tabla 10: Ciclo de ensayo E2.....	80
Tabla 11: Ciclo de ensayo E3.....	80
Tabla 12: Ciclo de ensayo D2.....	81
Tabla 13: Ciclo de ensayo C1.....	81

## **Glosario de abreviaturas**

SCR	Selective Catalytic Reduction
TFG	Trabajo de Fin de Grado
MARPOL	Marine pollution
IMO	International Maritime Organization
ECA	Emission Control Areas
IAPP	International Air Pollution Prevention
EIAPP	Engine International Air Pollution Prevention
PYMAR	Pequeños y medianos Astilleros Sociedad de Reconversión
MM.PP.	Motores principales
MM.AA.	Motores auxiliares
M.P.	Motor principal
M.A.	Motor auxiliar
LFO	Light fuel-oil
HFO	High fuel-oil
MDO	Marine diésel-oil
LT	Low temperature
HT	High temperatura
PVDF	Fluoruro de polivinilideno
PLC	Power Line Communications

N	Nitrógeno
O	Oxígeno
O <sub>3</sub>	Ozono
Ti	Titanio
Va	Vanadio
W	Tungsteno
Mo	Molibdeno
Si	Silicio
Al	Aluminio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
HC	Hidrocarburos
NO	Óxido nítrico o monóxido de nitrógeno
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NO <sub>3</sub>	Trióxido de nitrógeno
N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Dióxido de dinitrógeno
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Tetróxido de dinitrógeno
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso u óxido de dinitrogeno
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Trióxido de dinitrógeno

$N_2O_5$  Pentóxido de dinitrógeno

$CH_2$  Metileno

$HCN$  Cianuro de hidrógeno

$NH_3$  Amoníaco

$SO_x$  Óxidos de azufre

$SO$  Monóxido de azufre

$SO_2$  Dióxido de azufre

$SO_3$  Trióxido de azufre

$CO(NH_2)_2$  Urea

$H_2O$  Agua

$H_2SO_4$  Ácido sulfúrico

$(NH_4)_2SO_4$  Sulfato de amonio

$(NH_4)HSO_4$  Bisulfato de amonio

kW KiloWattios

kWh KiloWattios hora

°C Grados centígrados

mm Milímetro

cm Centímetro

m Metro

m <sup>3</sup>	Metro cúbico
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
mg	Miligramo
DN	Diámetro nominal
cSt	CentiStokes

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Los óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Los óxidos de nitrógeno son principalmente dos gases de nitrógeno diferentes: monóxido de nitrógeno u óxido nítrico (NO), y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Aunque existen otros como N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y NO<sub>3</sub>.

Una parte de las emisiones de NO<sub>x</sub> se debe a causas naturales (descomposición de nitrógeno orgánico, incendios forestales, actividad volcánica, tormentas, etc.). No obstante, la generación más importante se debe a la utilización de combustibles fósiles y los escapes de vehículos a combustión.

En la siguiente imagen se puede observar la composición de los gases de escape de un motor diésel.

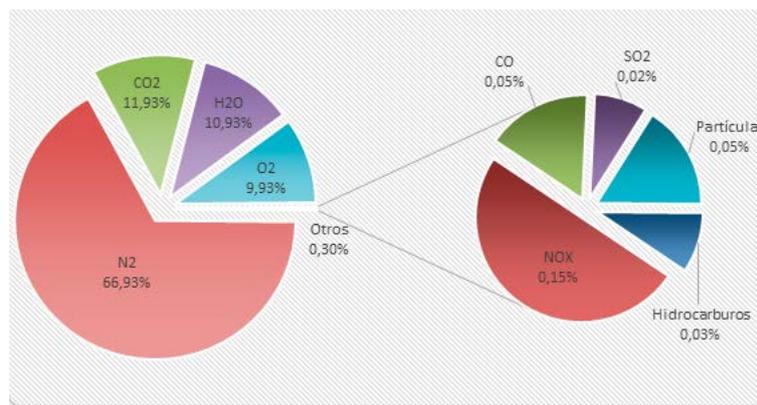


Ilustración 1: Composición de los gases de escape de un motor diésel

Fuente: Eadic.com

En los procesos de combustión, los NO<sub>x</sub> pueden formarse de varias formas:

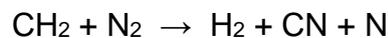
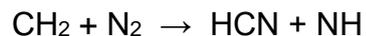
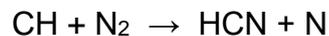
- NO<sub>x</sub> térmico: se produce a temperaturas muy elevadas por la oxidación del nitrógeno (N<sub>2</sub>) contenido en el aire. Debido a las altas temperaturas, el oxígeno y el nitrógeno presentes en el aire reaccionan entre sí para formar el NO. Según el físico soviético Yákov Zeldóvich las reacciones principales para la formación del NO en la combustión son las siguientes:





Éste es el mecanismo principal de formación de NO en los procesos de combustión, produciendo hasta un 90% del NO emitido por los motores de combustión.

- NO del combustible: se produce a partir del nitrógeno contenido en el combustible. El hidrógeno y el carbono se oxidan durante la combustión y los átomos de nitrógeno se liberan como átomos inestables. Éste proceso depende poco de la temperatura y su importancia es mucho menor.
- NO súbito o prompt: en 1979, Fenimore demuestra experimentalmente que la formación de NO no se puede explicar únicamente con la teoría de Zeldóvich y sugiere que se forma al reaccionar el nitrógeno existente en el aire, junto con radicales libres procedentes del combustible, y que se producen principalmente en las zonas de la cámara de combustión muy ricas en combustible y a altas temperaturas. A continuación, se detallan algunas de las reacciones responsables:



La primera de las reacciones es la dominante y la principal responsable de la creación de los NO súbitos, aunque su formación en motores de combustión interna no es significativa.

En la siguiente imagen se observa los tres diferentes tipos de formación de los NO<sub>x</sub> y de qué manera aumenta su formación a medida que aumenta la temperatura de combustión.

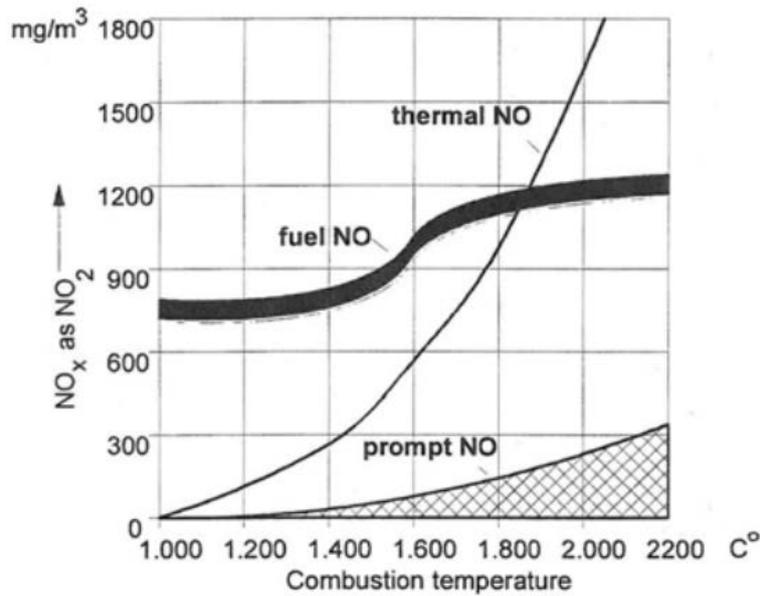
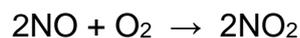


Ilustración 2: Temperaturas de formación de los NO<sub>x</sub>

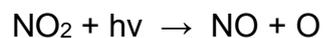
Fuente: TFTEI

Una vez en la atmósfera, los NO<sub>x</sub> son participes en los fenómenos de formación del ozono o huminiebla fotoquímica, lluvia ácida, partículas sólidas y posibles productos cancerígenos que se encuentran suspendidos en el aire.

- Ozono/huminiebla fotoquímica: el NO se oxida a NO<sub>2</sub>



Tanto el NO<sub>2</sub> procedente de la combustión como el de la oxidación del NO con el oxígeno en la atmósfera, se descomponen por la acción de la luz solar en NO y oxígeno atómico. Éste último es muy reactivo y reacciona con el oxígeno molecular del aire produciendo ozono.



El ozono que se crea es el troposférico, es decir, el que existe en el aire que respiramos, y no el estratosférico en la capa alta de la atmósfera, que es el que nos protege de la radiación ultravioleta del sol.

- Lluvia ácida: los  $\text{NO}_x$  y el  $\text{SO}_2$  contribuyen a la formación de la lluvia ácida, reaccionando con el vapor de agua para formar compuestos ácidos, que son los causantes de más del 90% de la lluvia ácida.
- Partículas sólidas: en la atmósfera, los  $\text{NO}_x$  reaccionan con otros productos químicos en suspensión, para producir nitratos, y también promueve la transformación del  $\text{SO}_2$  en partículas de compuestos sulfatados.

## 1.2. Sistemas de reducción de emisiones de $\text{NO}_x$

A la hora de reducir las emisiones de gases contaminantes existen muchas formas de hacerlo que se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Medidas primarias: con estas medidas lo que se trata de hacer es reducir la formación de los  $\text{NO}_x$  durante el proceso de combustión mediante técnicas de control de dicho proceso. Estas medidas se pueden clasificar a su vez en dos categorías. Las que actúan sobre la temperatura pico de la combustión y las basadas en la relación aire/combustible. Algunas de estas medidas primarias son las siguientes:
  - Modificación en el timing de la inyección de combustible: retrasando la inyección de combustible, se consigue reducir la presión máxima en el cilindro, reducir la temperatura pico y la temperatura media, pero al mismo tiempo reduce la eficiencia térmica del motor e incrementa el consumo de combustible y los productos inquemados.

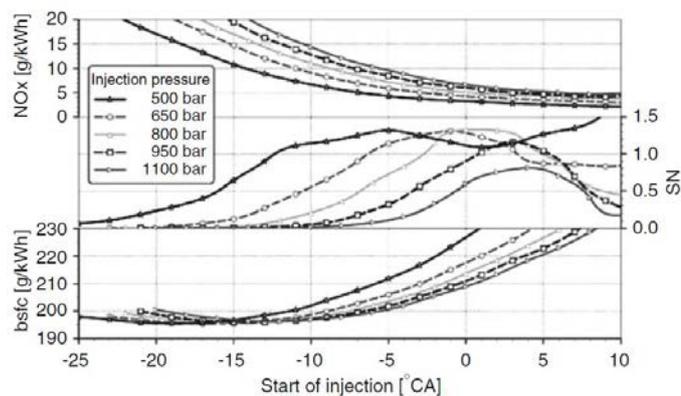
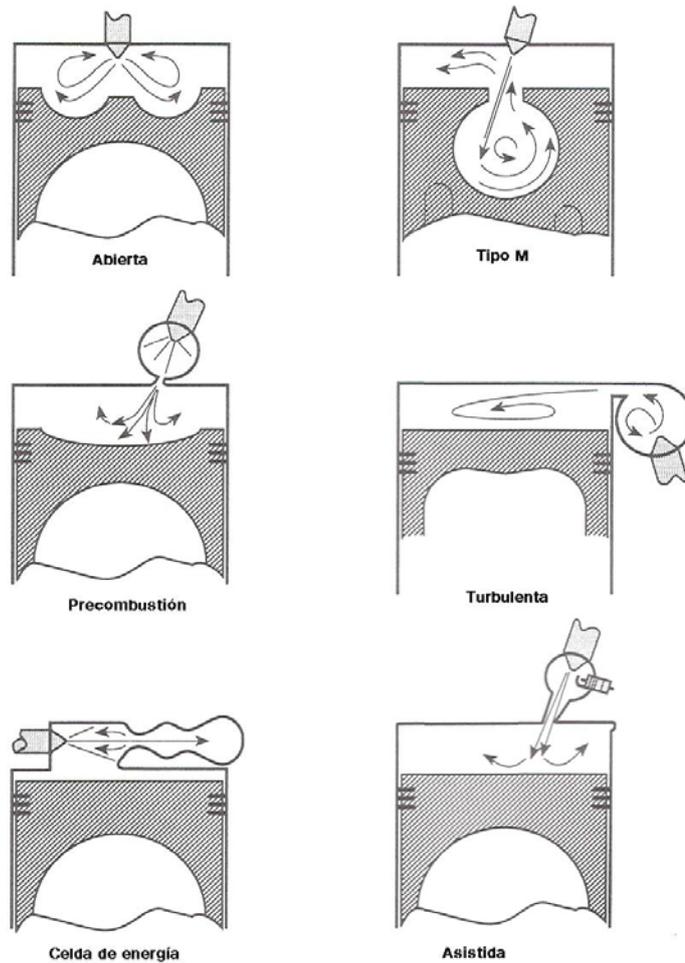


Ilustración 3: Variación de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , el consumo de combustible y las partículas en función del ángulo de comienzo de la inyección y la presión de inyección.

Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat

- Alta relación de compresión: al aumentar la relación de compresión se consiguen menores emisiones y de  $\text{NO}_x$  sin consumir tanto combustible como retrasando la inyección. Desafortunadamente, la temperatura pico aumenta y reducirla es muy complicado.
- Ajuste en la relación aire/combustible: variando la relación aire/combustible se consiguen variaciones importantes en las temperaturas pico y media y en la concentración de  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  en los gases de la mezcla. El principal problema surge a la hora de elegir la relación correcta para que el consumo de combustible y la potencia del motor no se vean muy afectados.
- Temperatura del aire de admisión: reduciendo la temperatura del aire de admisión se mejora el rendimiento volumétrico del aire y disminuye la temperatura de inicio de la combustión, lo que contribuye a reducir los  $\text{NO}_x$ . El problema de este sistema, es que si se disminuye mucho la temperatura del aire admisión pueden producirse retrasos en el inicio de la combustión.
- Distribución del combustible en la cámara de combustión: distribuir correctamente el combustible en el cilindro influye en la transferencia de calor y en la distribución de temperaturas dentro del cilindro. Por estas razones es lógico que se reduzcan los  $\text{NO}_x$ . Con este sistema hay que tener cuidado de mantener la temperatura en las paredes de la cámara de combustión para evitar el desgaste en las camisas del cilindro y en los aros del pistón.



*Ilustración 4: Tipos de cámaras de combustión en motores diésel*

*Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat*

- Adición de agua o vapor: este método reduce la temperatura de la combustión lo cual hace disminuir la creación de los  $\text{NO}_x$  introduciendo agua o vapor en la cámara de combustión. Existen varias formas de hacerlo:
  - Emulsión de agua en el combustible.
  - Inyección de agua directamente en la cámara de combustión.

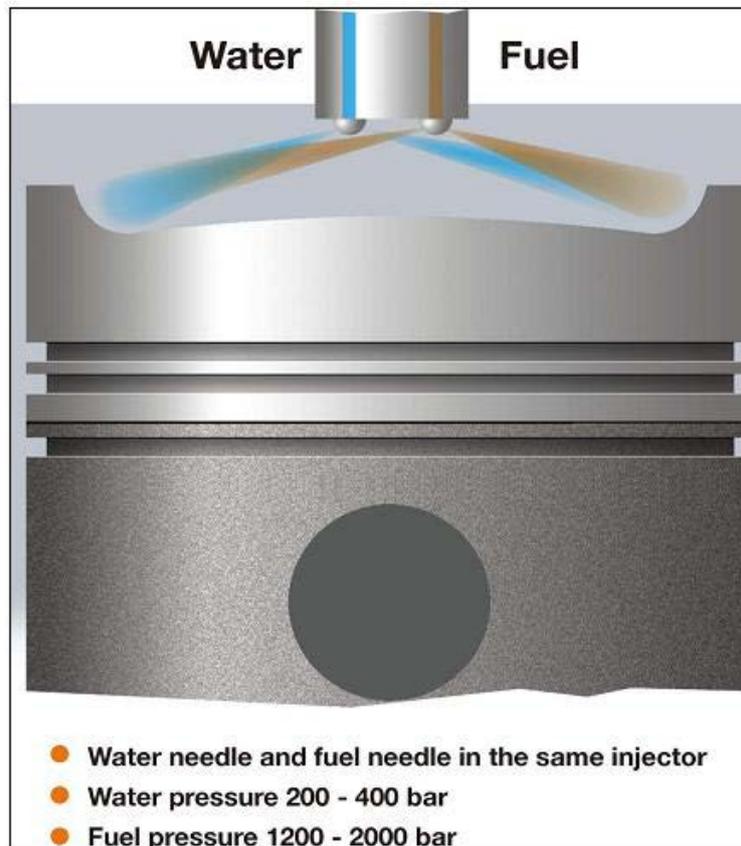


Ilustración 5: Esquema de inyección de agua directamente en la cámara de combustible

Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat

- Mezclado con el aire de admisión.

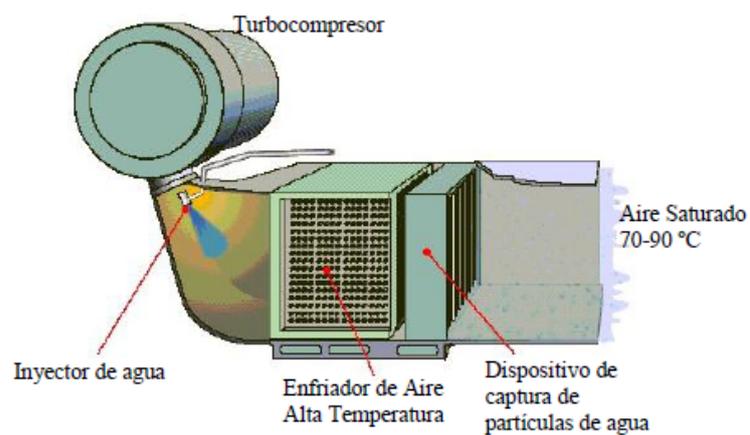


Ilustración 6: Esquema de inyección de agua en el sistema de admisión de aire

Fuente: Ingeniero marino

- Adición de vapor directamente en la cámara de combustión o en el sistema de admisión.

- Algunos de estos sistemas pueden combinarse entre sí o con medidas secundarias para conseguir mejores resultados.
- Medidas secundarias: con estas medidas lo que se intenta es reducir los  $\text{NO}_x$  producidos por la combustión y que son expulsados al exterior a través de los gases de escape. También se les denomina sistemas de postratamiento de gases de escape. Los más destacados son los siguientes:
  - Reducción catalítica selectiva (SCR): es el método de postratamiento de gases más utilizado y el estudio de nuestro trabajo. Éste sistema es muy eficiente a la hora de reducir los  $\text{NO}_x$ , pero también tiene algunos inconvenientes que sobre todo son económicos.
  - Absorción de  $\text{NO}_x$ : estos sistemas tienen un coste demasiado elevado. Existen 3 tipos:
    - Lavado con ácido sulfúrico.
    - Proceso TYCO.

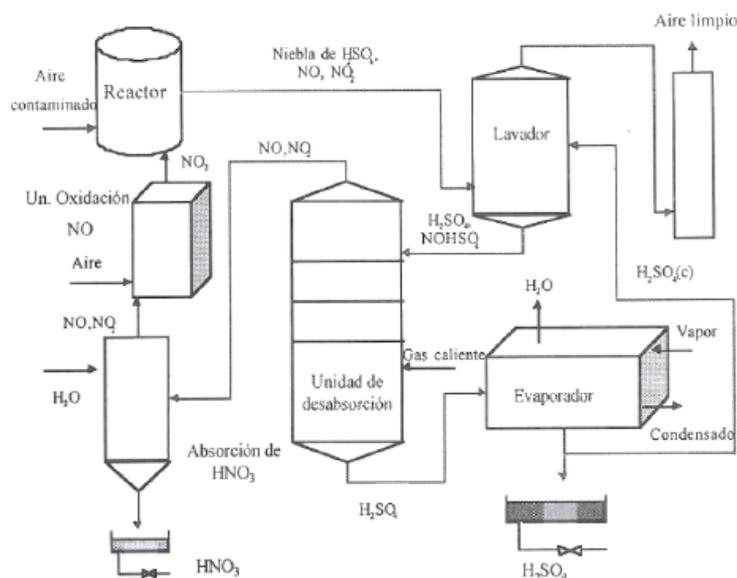


Ilustración 7: Esquema del proceso TYCO

Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat

- Lavado con hidróxido de magnesio.

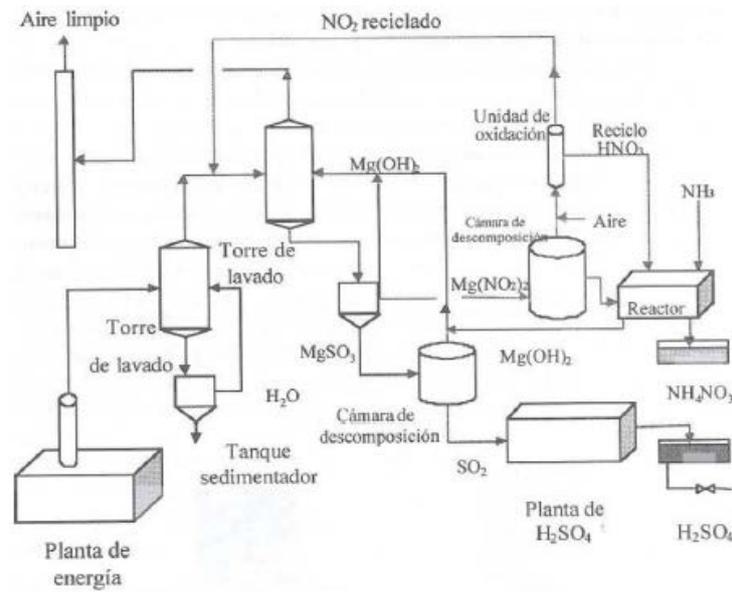


Ilustración 8: Esquema del proceso con hidróxido de magnesio

Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat

- Reducción térmica de NO<sub>x</sub> o Reducción catalítica no selectiva (SNCR): los NO<sub>x</sub> se reducen a N<sub>2</sub> inyectando amoníaco o urea en el flujo de gases de escape a altas temperaturas (entre 900 y 1000 °C) sin usar un catalizador.
- Inyección de ozono: inyectando ozono en los gases de escape, se oxida tanto el NO como el NO<sub>2</sub> dando lugar a N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que, al ser altamente soluble en agua, se puede disolver en un scrubber y convertirlo en HNO<sub>3</sub>.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Demostrar la gran eficacia del sistema de reducción catalítica selectiva (SCR) a la hora de reducir los NO<sub>x</sub> que se producen en la combustión de los motores diésel y que son emitidos a la atmósfera.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Explicar que son NO<sub>x</sub>, cómo se forman y las consecuencias que tienen en el medio ambiente y en la salud humana.
- Conocer la normativa internacional que se aplica al transporte marítimo para controlar las emisiones de NO<sub>x</sub>.
- Conocer las características y el funcionamiento de un sistema SCR instalado en un buque.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Detalles del buque

El barco fue encargado por Viking Line en 2007 a la factoría española Astilleros de Sevilla. Durante la etapa de construcción, Viking Line canceló el contrato a finales de 2009 debido a la incapacidad del astillero para acabar la construcción del buque como consecuencia de la inestabilidad laboral y económica. Éste quedó en la grada del astillero, con su casco construido, pero con la superestructura inacabada.

En febrero de 2013, el buque sin terminar, es comprado por el astillero español Factorías Vulcano S.A., de Vigo, que completaría su construcción.



*Ilustración 9: El 16 de marzo de 2017 en los astilleros de Factorías Vulcano S.A.*

*Fuente: jdap*

A finales de abril de 2017, el grupo empresarial Acciona Trasmediterránea adquiere el buque en el estado que se encontraba con la condición de que debía finalizarse su construcción y efectuar su entrega antes de la temporada alta de 2018.

En 2018, el Grupo Navieras Armas compra a Acciona su participación en Trasmediterránea y eligió el nombre de Villa de Teror para el buque. En octubre realizó las pruebas no oficiales, saliendo a la mar frente a la costa de Galicia.



*Ilustración 10: Realizando los trabajos en el astillero de Factorías Vulcano S.A.*

*Fuente: Trasmediterranea S.A.*

En septiembre de 2018, debido a problemas económicos que provocaron que fuera imposible saldar las deudas pendientes, los trabajos se suspendieron hasta nueva fecha.



*Ilustración 11: En el puerto de Santa Cruz de Tenerife el 4 de junio de 2020*

*Fuente: Juan Carlos Díaz Lorenzo*

En marzo de 2019 se llega a un acuerdo entre PYMAR, Banco Santander, el Grupo Armas-Trasmediterranea y la familia Santodomingo que desbloqueó la situación en la que se encontraba el buque y ese mismo mes se retomaron los trabajos en Factorías Vulcano S.A. para lograr la finalización de la construcción y entrega a sus propietarios.

A mediados de mayo el ferry Villa de Teror realizó sus pruebas oficiales y a finales de dicho mes fue entregado a sus propietarios Armas-Trasmediterranea.

A continuación, se detalla una pequeña descripción del buque Villa de Agaete donde se encuentra el sistema SCR que se describe en este trabajo:

Nombre	VILLA DE TEROR
Designación	5BAJ5
Número IMO	9430105
Sociedad de Clasificación	LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
Tipo de Buque	ROPAX
Puesta de Quilla	2008
Astillero	FACTORÍAS VULCANO S.A.
Eslora Total	139,120 m
Eslora entre Perpendiculares	123,640 m
Manga	22 m
Puntal Cubierta Principal	8,20 m
Puntal Cubierta Superior	13,80 m
Calado máximo	5,90 m
MM.PP.	2 x WARTSILÄ 8L46F-CR
Potencia	2 x 10000 kW
R.p.m.	600
Velocidad	22 nudos
Hélices	2
Tipo de Hélices	Paso variable (WARTSILÄ)
Hélice de Proa	2 x 1000 kW
Tipo de Hélices de Proa	ABB
MM.AA.	3 x WARTSILÄ 6L20F
Potencia	3 x 1080 kW
R.p.m.	1000

*Tabla 1: Características del buque*

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2. Motores Principales

El buque dispone de 2 MM.PP. Wartsilä W8L46F-CR situados a popa de la cubierta 1. Se fabricaron en septiembre de 2008 en Bermeo, España. Son motores diésel de 4 tiempos, turboalimentados, con intercooler e inyección directa de combustible y sistema de arranque por aire comprimido.



*Ilustración 12: Motor principal de estribor*

*Fuente: Elaboración propia*

El motor está diseñado para funcionar con combustibles pesados (HFO) o combustible ligero (LFO). Se puede arrancar y parar con HFO siempre que el combustible se haya precalentado a la temperatura de funcionamiento. Dispone de un sistema Common Rail de inyección de combustible. Con este sistema, el combustible se presuriza a una presión constante en una tubería de suministro común desde donde se alimentan las válvulas de inyección a una presión constante superior a los 850 bar. El sistema consta de una bomba de alta presión y un acumulador de combustible por cada dos cilindros.

El sistema de lubricación del motor es de cárter seco. El aceite es suministrado al motor mediante una bomba acoplada al motor o una eléctrica que aspira del tanque de aceite. Para lubricarlo cuando no está en funcionamiento el motor se utiliza una bomba de prelubricación externa al motor. También se dispone de un enfriador para mantener el aceite a la temperatura adecuada. El sistema de aceite de lubricación también se utiliza para lubricar el turbocompresor.



*Ilustración 13: Motor principal de estribor*

*Fuente: Elaboración propia*

El circuito de agua de refrigeración se divide en circuito de alta temperatura (HT) y circuito de baja temperatura (LT). El circuito HT incluye las culatas, las camisas de los cilindros y la primera etapa del enfriador de aire de sobrealimentación. El circuito LT comprende la segunda etapa del enfriador de aire de sobrealimentación y el enfriador de aceite lubricante. El precalentamiento del motor necesario para el arranque con combustible pesado se realiza con agua de refrigeración HT. El agua se suministra con dos bombas acopladas al motor o eléctricas externas, una para la HT y otra para la LT.

El motor se pone en marcha mediante aire comprimido con una presión nominal de 30 bar. El arranque se realiza mediante inyección directa de aire en los cilindros a través de las válvulas de aire de arranque en las culatas.



*Ilustración 14: Motor principal de babor*

*Fuente: Elaboración propia*

Datos técnicos principales:

Tipo	4 tiempos
Número de cilindros	8 en línea
Diámetro del cilindro	460 mm
Carrera	580 mm
Potencia	10000 kW (1250 kW/cil.)
R.p.m.	600
Presión media efectiva	25,9 bar
Presión de encendido	230 bar
Presión del aire de carga	3,65 bar
Temperatura máx. del aire de carga	75 °C
Relación de Compresión	16,0 : 1
Emisiones de NO <sub>x</sub>	12,22 g/kWh
Viscosidad máx. del fuel	700 cSt a 50 °C
Presión de inyección de combustible	600 – 620 bar

*Tabla 2: Datos técnicos de los MM.PP. Wärtsilä W8L46F-CR*

*Fuente: Elaboración propia según manual*



*Ilustración 15: Motor principal de babor*

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3. Motores Auxiliares**

El buque dispone de 3 MM.AA. Wärtsilä W6L20 situados en la cubierta 1, a proa de los MM.PP. Se fabricaron en marzo de 2008 en Bermeo, España. Son motores diésel de 4 tiempos, no reversible, turboalimentados, con intercooler e inyección directa de combustible y sistema de arranque por aire comprimido.



*Ilustración 16: Motor auxiliar nº1*

*Fuente: Elaboración propia*

El motor está diseñado para el servicio continuo de combustible pesado. Se puede arrancar y parar con combustible pesado siempre que el combustible se caliente a la temperatura de funcionamiento y el agua de la camisa se precaliente a la temperatura descrita. Está equipado con una bomba de inyección por cilindro.

El sistema de lubricación del motor es de cárter húmedo. El aceite se suministra al motor mediante una bomba acoplada al motor, que aspira directamente desde el cárter, y que impulsa el aceite a través del enfriador de aceite equipado con una válvula termostática que regula la temperatura, pasa por el filtro principal de aceite y entra en el canal principal de distribución del motor integrado en el bloque.



*Ilustración 17: Motor auxiliar nº2*

*Fuente: Elaboración propia*

El motor se enfría mediante un sistema de agua de refrigeración de circuito cerrado, dividido en un circuito de alta temperatura (HT) y un circuito de baja temperatura (LT). El agua de refrigeración se enfría en un enfriador central separado. El circuito HT enfría los cilindros y culatas, mientras que el circuito LT se utiliza para enfriar el aire de carga y el aceite de lubricación. Las bombas de HT y LT van acopladas al motor y también se dispone de una bomba eléctrica para precalentamiento del motor.

El motor se arranca mediante un motor de arranque neumático. La presión máxima de arranque es de 10 bar, pero si el motor se encuentra a la temperatura de funcionamiento se puede arrancar con 7.5 bar.

Datos técnicos principales:

Tipo	4 tiempos
Número de cilindros	6 en línea
Diámetro del cilindro	200 mm
Carrera	280 mm
Potencia	1080 kW
R.p.m.	1000
Presión media efectiva	24,6 bar
Presión de encendido	190 bar
Presión del aire de carga	3 bar $\pm$ 0,15
Temperatura máx. del aire de carga	75 °C
Relación de compresión	15:01
Emisiones de NOx	9,7 g/kWh
Viscosidad máx. del fuel	730 cSt a 50 °C
Presión de inyección de combustible	450 bar

*Tabla 3: Datos técnicos de los MM.AA. Wartsilä W6L20*

*Fuente: Elaboración propia según manual*



*Ilustración 18: Motor auxiliar nº3*

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4. Sistema SCR

El sistema SCR está diseñado para 5 motores (2 x W8L46F-CR y 3 x W6L20) y está compuesto principalmente por:

1. 2 tanques para el agente reductor (Disolución de urea al 40%)
2. 1 estación de bombeo con el cuadro de distribución.
3. 1 unidad de distribución y control de presión.
4. 5 unidades de dosificación (2 x W8L46F y 3 x W6L20).
5. 5 mecanismos de inyección y mezcla (2 x W8L46F y 3 x W6L20).
6. 5 cajas de reactor (2 x W8L46F y 3 x W6L20).
7. 1 cuadro analizador de NO<sub>x</sub>.
8. 1 cuadro de control SCR.

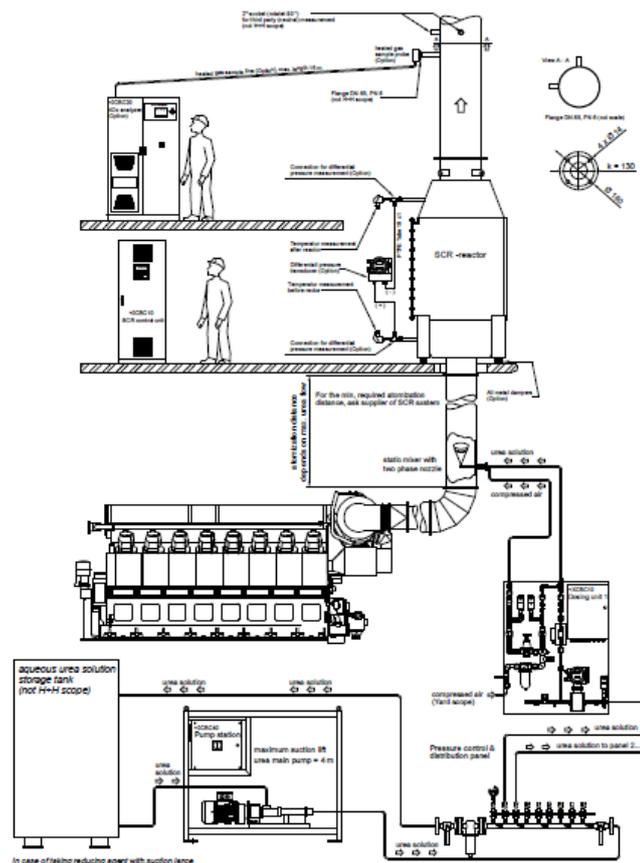
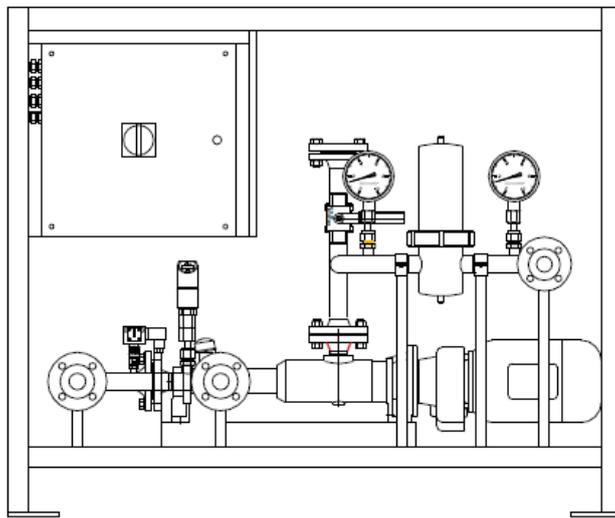


Ilustración 19: Esquema del sistema SCR  
Fuente: Manual H+H Engineering & Service

### 3.4.1. Tanques

Hay dos tanques para la urea, con una capacidad de 24 m<sup>3</sup> cada uno, situados a la popa de la cubierta 2, uno a babor y el otro a estribor. En cada tanque hay una válvula de bola instalada en la salida del tanque. Ambas tuberías están conectadas entre sí y entran a la estación de bombeo. Para la tubería de retorno desde la estación de bombeo al tanque, solo se instala una válvula de bola de 3/2 vías. Ambos tanques disponen de alarma de bajo y alto nivel.

### 3.4.2. Estación de bombeo



*Ilustración 20: Esquema de estación de bombeo  
Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

La función de la estación de bombeo es la de aumentar la presión de la solución de urea hasta los 7 bar.

Se encuentra colocada a popa de la cubierta 2, delante de los tanques de urea, en la sala de los motores principales.

Está compuesto por los siguientes elementos:

- 1 bomba principal de urea.
- 1 caja de distribución.
- 1 filtro principal.
- 1 interruptor de sobrepresión.

- 1 transductor de presión.
- 1 protección para trabajo en seco.
- Válvulas de bola DN 40.
- Manómetro  $\varnothing$ 100.



*Ilustración 21: Estación de bombeo*

*Fuente: Elaboración propia*

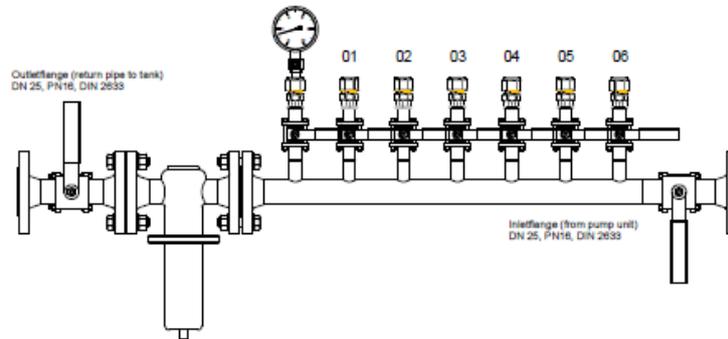
Antes de poner en marcha la bomba principal de urea, debemos asegurarnos de que:

1. Haya solución acuosa de urea en los tanques.
2. La bomba esté llena de agua para que no trabaje en seco.
3. Comprobar todas las señales y el sentido de rotación sea el correcto.
4. Las válvulas de bola de entrada y salida de la estación de bombeo estén abiertas.
5. Las válvulas de bola de entrada y salida de la unidad de distribución y control de presión estén abiertas.
6. El interruptor de reparación no esté activado.
7. No hayan fugas en las tuberías.
8. El filtro esté limpio.
9. Todas las tuberías tengan el diámetro correcto y estén bien conectadas.

Antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento en la estación de bombeo debe activarse el interruptor de mantenimiento.

### 3.4.3. Unidad de distribución y control de presión

Su función es la de distribuir la solución de urea a las diferentes unidades de dosificación y la de regular la presión (4 ... 12 bar).



*Ilustración 22: Esquema de unidad de distribución y control de presión*

*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

Se encuentra en la cubierta 2, sobre la estación de bombeo, en la sala de los motores principales. Cerca de las unidades de dosificación de los motores principales.

Está compuesta por:

- 1 manómetro.
- 3 Válvulas de bola DN 25.
- 6 Válvulas de bola DN 10.
- 1 válvula de control de presión.



*Ilustración 23: Unidad de distribución y control de presión*

*Fuente: Elaboración propia*

Antes de ponerla en servicio debemos asegurarnos de que:

1. Todas las tuberías tengan el diámetro correcto y estén bien conectadas.
2. Las tuberías estén limpias.
3. No hayan fugas en las tuberías.
4. Las válvulas de bola DN 25 de entrada y salida estén abiertas.
5. La válvula de control de presión esté ajustada a la presión mínima.
6. Las válvulas de bola DN 10 estén conectadas con las unidades de dosificación.

#### 3.4.4. Unidades de dosificación

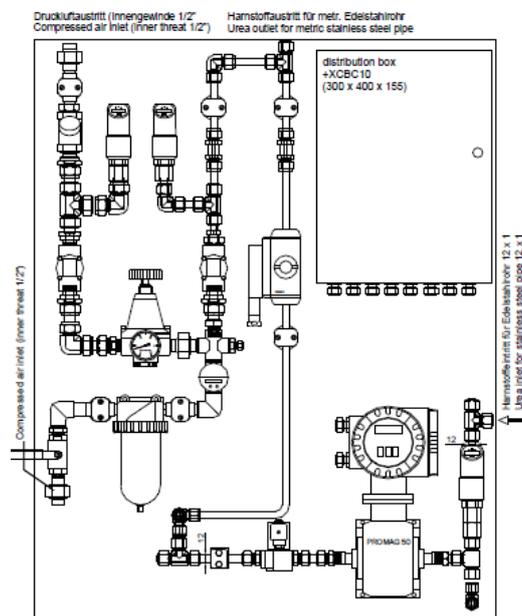


Ilustración 24: Esquema de la unidad de dosificación

Fuente: Manual H+H Engineering & Service

En nuestro sistema hay 5 unidades, 2 para los motores principales W8L46F y otras 3 para los motores auxiliares W6L20 y realizan varias funciones:

- Enfriar la lanza de inyección antes de dosificar la solución de urea. Este proceso depende de la longitud y del diámetro de la tubería entre la unidad de dosificación y la tubería de inyección. El tiempo de enfriamiento está ajustado a 200 segundos.
- Medir y ajustar el flujo de urea requerido.

- Limpiar y eliminar la solución de urea que queda en el sistema después de apagar el proceso de dosificación. Este proceso depende de la longitud y del diámetro de la tubería entre la unidad de dosificación y la tubería de inyección. El tiempo de limpieza está ajustado a 600 segundos.

Las unidades se encuentran cerca de cada motor. Tres en la sala de auxiliares en la cubierta 1 y las otras dos en la sala de principales en la cubierta 2.

Cada unidad de dosificación está compuesta por los siguientes elementos:

- 1 válvula dosificadora.
- 1 filtro.
- 1 caudalímetro.
- 1 manómetro.
- 1 válvula de bola de aire comprimido.
- 1 válvula de control de presión.
- 1 presostato.
- 1 interruptor de flujo de aire comprimido.
- 1 electroválvula para la urea.
- Electroválvulas para el aire comprimido.

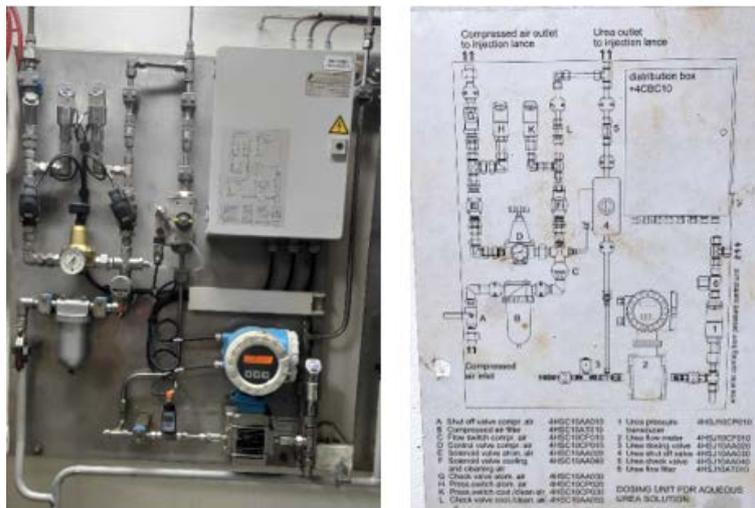


Ilustración 25: Unidad de dosificación

Fuente: Elaboración propia

Antes de ponerla en servicio debemos asegurarnos de que:

1. Todas las tuberías tienen la dimensión correcta y están conectadas correctamente.
2. Se limpian todas las tuberías.
3. Se realiza una prueba de fugas.
4. Se abren las válvulas de bola de entrada y salida.
5. La válvula dosificadora está ajustada.
6. Los presostatos están regulados (el setpoint a 3,0 bar y el resetpoint a 3,5 bar).
7. El dispositivo de control de presión de aire comprimido esté ajustado a 4,5 bar.
8. Las válvulas de retención están colocadas en lugar y la dirección correcta.
9. El medidor de flujo esté ajustado.
10. Se ajusta el interruptor de flujo de aire comprimido.

#### **3.4.5. Mecanismo de inyección y mezcla**

En nuestro sistema hay 5 unidades, 2 para los motores principales W8L46F y otras 3 para los motores auxiliares W6L20.

Su función es la de pulverizar la solución de urea en el interior del escape para realizar la mezcla y la reacción con los gases de escape. Para lograr una reacción óptima con un consumo mínimo de agente reductor, la reacción debe prepararse con precisión.

Se encuentra colocado en las tuberías de escape de entre el motor y la caja del reactor.

Los elementos que lo forman son:

- Lanza de inyección.
- Dispositivo de mezcla.

### 3.4.5.1. Lanza de inyección

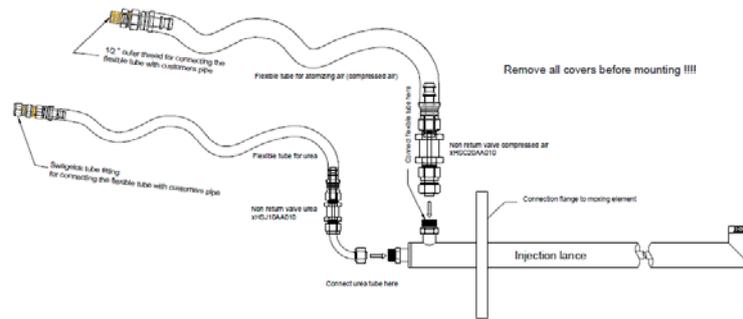


Ilustración 26: Esquema de lanza de inyección

Fuente: Manual H+H Engineering & Service

Su función es inyectar en el flujo de gases de escape una cantidad de agente reductor que hará reacción con los gases. La lanza está correctamente diseñada y ajustada para que la inyección sea la debida. Este sistema está diseñado para no necesitar ningún tipo de mantenimiento.



Ilustración 27: Lanza de inyección

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5.2. Dispositivo de mezcla

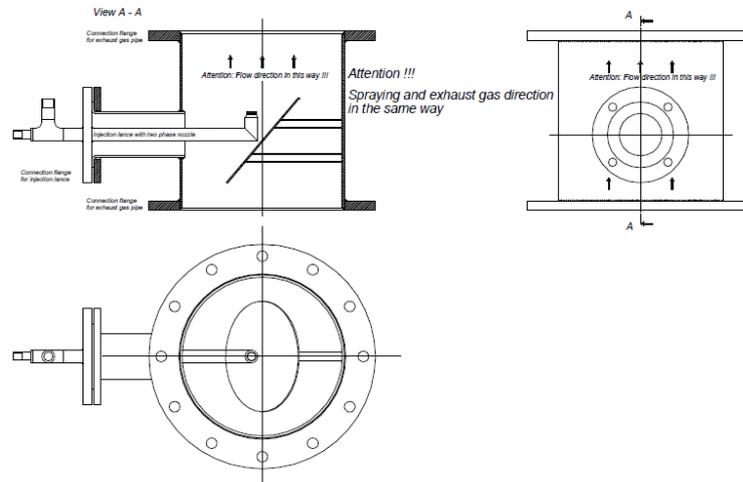


Ilustración 28: Esquema del dispositivo de mezcla

Fuente: Manual H+H Engineering & Service

Este dispositivo mezclador se utiliza para para distribuir de forma equitativa la solución de urea inyectada por todo el diámetro de entrada del catalizador. Esto reduce al mínimo el riesgo de obstrucción del catalizador, el consumo de agente reductor y la falta de  $\text{NH}_3$ .

Se encuentra colocado en la tubería de escape entre el motor y la caja del reactor, junto con la boquilla de inyección.

El mezclador está formado por:

- 1 dispositivo mezclador estático con una brida de conexión para la lanza de inyección.
- 1 lanza de inyección con boquilla bifásica y brida de conexión.
- Tornillos y tuercas de acero inoxidable para conectar la lanza de inyección con el elemento mezclador.
- 1 tubo flexible para conectar el aire comprimido con la válvula de retención y racores.
- 1 tubo flexible de agente reductor con válvula de retención y racores.
- 1 junta de grafito para la brida de conexión.

El dispositivo está diseñado para colocarse tanto de forma vertical como horizontal.

La distancia entre el centro de la boquilla de inyección y la brida de entrada del reactor se denomina distancia de vaporización y homogeneización. Esta distancia es necesaria para la hidrólisis completa de la urea en amoníaco y agua. Todos los codos dentro de esta distancia deben estar hechos de acero inoxidable. H+H recomienda realizar la distancia completa de acero inoxidable.

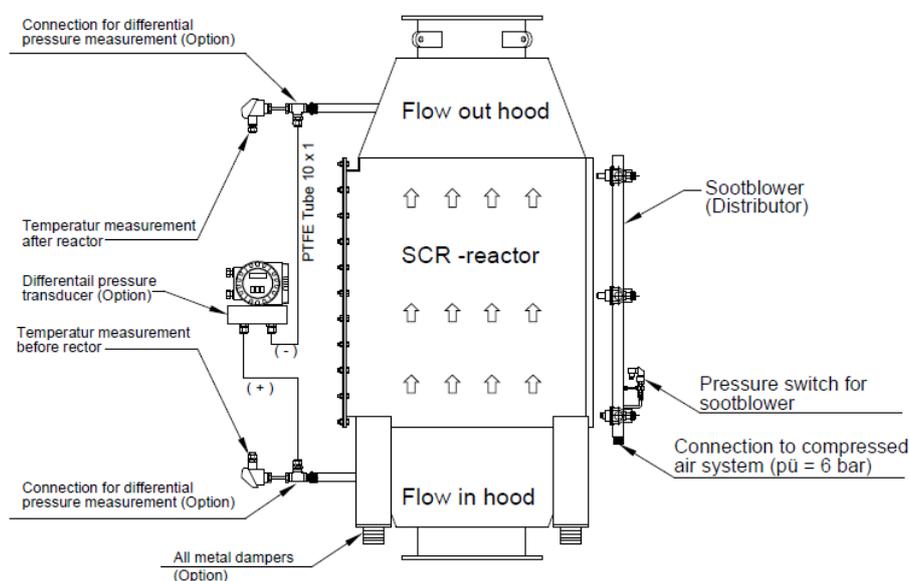
La distancia depende del flujo del agente reductor, la temperatura, el diámetro del tubo de gases de escape (dispositivo de mezcla), el consumo de aire comprimido y el flujo de gas de escape.

Valores de referencia en función del flujo del agente reductor:

- Flujo de urea de 00 a 20 dm<sup>3</sup> por hora: distancia = 1.800 mm
- Flujo de urea de 20 a 50 dm<sup>3</sup> por hora: distancia = 2.500 mm
- Flujo de urea de 50 a 220 dm<sup>3</sup> por hora: distancia = 3.200 mm

La boquilla de inyección debe instalarse exactamente en la dirección del flujo.

### 3.4.6. Caja del reactor



*Ilustración 29: Esquema de la caja reactor*

*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

En nuestro sistema hay 5 unidades, 2 para los motores principales W8L46F y otras 3 para los motores auxiliares W6L20. En los motores principales se encuentran colocados antes de los economizadores.

El reactor integra el catalizador en el flujo de gas y consta de los siguientes componentes:

- 1 campana de entrada.
- 1 carcasa del reactor.
- 1 campana de salida.
- 1 aislante térmico.
- Módulos catalizadores.
- 2 dispositivos de medición de temperatura.
- 1 dispositivo de medición de presión diferencial.
- 4 amortiguadores.
- 4 piezas de montaje superiores flexibles.
- 1 caja de distribución para dos reactores.
- Equipo soplador de hollín compuesto por válvulas sopladoras de hollín, tubos flexibles para la conexión de las válvulas a los manguitos del reactor, un distribuidor de aire comprimido.



*Ilustración 30: Cajas del reactor de MM.AA.*

*Fuente: Elaboración propia*

La campana de entrada es la conexión entre el tubo de escape del motor y la carcasa del reactor, y tiene un diámetro que aumenta constantemente. La carcasa del reactor es de acero autoportante, que evita las fugas de gas y se compensa por el peso y las resistencias del flujo del SCR y los módulos del catalizador y los protege contra daños mecánicos.



*Ilustración 31: Caja del reactor de M.P y los sopladores de hollín*  
*Fuente: Elaboración propia*

Existen varios tipos de catalizadores dependiendo del material con el que se fabrica:

- Metales ordinarios y aleaciones. La mayoría están constituidos por aleaciones de metales ordinarios; se componen de óxido de Ti con pequeñas cantidades de Va, Mo y W, o combinaciones de otros productos químicos activos. Los instalados en el buque son de este tipo.
- Zeolitas. Formados a base de silicatos de Al.
- Metales preciosos. Se fabrican a partir de platino y rodio.



Ilustración 32: Módulos catalizadores

Fuente: Trasmediterranea

Los módulos instalados en el buque están fabricados de materiales catalíticamente activos como el óxido de Ti, óxido de W y pentóxido de Va. Están fabricados en forma de panal extruidos de manera homogénea y su resistencia mecánica se obtiene mediante la adición de fibras de vidrio.

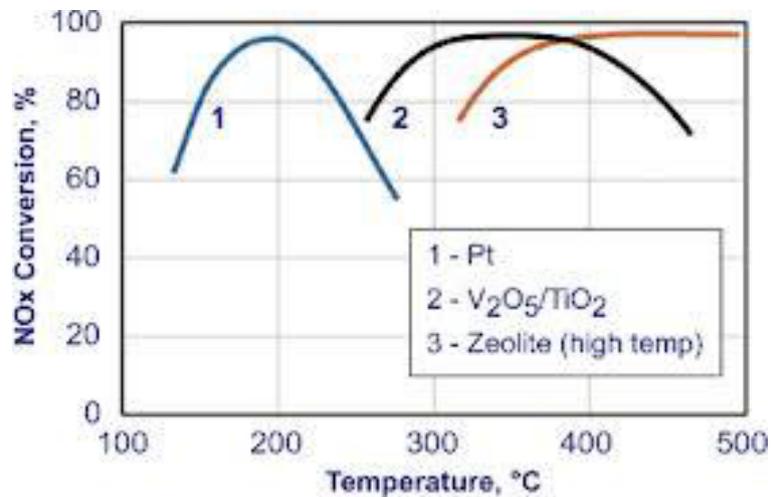


Ilustración 33: Temperaturas de los catalizadores más utilizados

Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat

Los módulos del catalizador se controlan y limpian a través de unas aberturas de revisión, situadas en los lados que deben cerrarse herméticamente al gas mediante unas tapas. Estas aberturas también permiten una actualización o sustitución rápida y segura de los módulos.

Además, la carcasa del reactor también incluye todas las facilidades necesarias para la instalación de los módulos catalizadores, así como las entradas y salidas de gas que están diseñadas como bridas.

La campana de salida es la conexión entre la salida del reactor y el tubo de gas de escape y permite que el gas siga fluyendo por el tubo de escape.

Para garantizar una fácil instalación y extracción de los componentes catalíticos, el fabricante eligió un diseño modular. Con respecto a este diseño, los panales catalíticos individuales se combinan en unidades más grandes, con varios niveles, los cuales son instalados a la vez en el reactor. Este método permite evitar la instalación complicada de panales cerámicos individuales en favor de una instalación modular rápida, sin problemas y segura.

Para un buen funcionamiento del sistema debemos asegurarnos que:

- El reactor SCR no esté sometido a esfuerzos externos adicionales (por ejemplo, silenciador montado directamente en la parte superior del reactor, carga radial...) H+H recomienda encarecidamente utilizar todos los amortiguadores de metal y piezas de montaje superiores flexibles para la instalación del reactor.
- Hay espacio suficiente para montar y desmontar los módulos catalizadores (mínimo 700 mm delante de las puertas de inspección del reactor).
- Hay suficiente espacio para el transporte de los módulos catalizadores SCR individuales.
- El reactor está montado en el lugar correcto dentro del sistema de tuberías. Evitar la pulsación excesiva (superior a +/- 50 mbar).
- Hay suficiente espacio para montar y desmontar los termopares (mínimo > 450 mm).
- Hay suficiente espacio para la colocación y el mantenimiento del equipo soplador de hollín.
- Hay suficiente espacio para la colocación y el mantenimiento del dispositivo de presión diferencial.
- Que la caja de distribución se instalará cerca del reactor. La distancia máxima de cables no debe superar los 20 m.
- Todos los manguitos están cerrados con tapones o bridas ciegas.

- Si H+H no suministra el aislamiento, éste debe realizarse de tal manera que sea posible un fácil desmontaje de la trampilla de inspección sin destruir el aislamiento. Colocar casetes extraíbles frente a las escotillas.
- Todas las válvulas de soplado de hollín están conectadas al reactor y se alimentan con aire comprimido (nivel de presión > 6 bar de presión) antes de hacer funcionar los motores. De lo contrario, las válvulas se dañarán. Si los motores deben probarse sin soplador de hollín, instale las válvulas después de probar los motores y cierre los manguitos en la carcasa del reactor.
- La temperatura máxima de los gases de escape es de 500 °C.

#### **3.4.6.1. Instalación de los módulos catalizadores**

Para la instalación de los módulos de catalizador, se utiliza una banda de sellado textil de 50 mm x 3 mm de espesor.

Se fija la banda con pegamento (el fabricante recomienda pegamento en aerosol), antes de instalar los módulos de catalizadores.

Cada capa de catalizador necesita 2 capas de banda textil.

Para cerrar la puerta, utilice una cuerda de sellado textil especial. (Para la instalación, el pegamento también es útil).

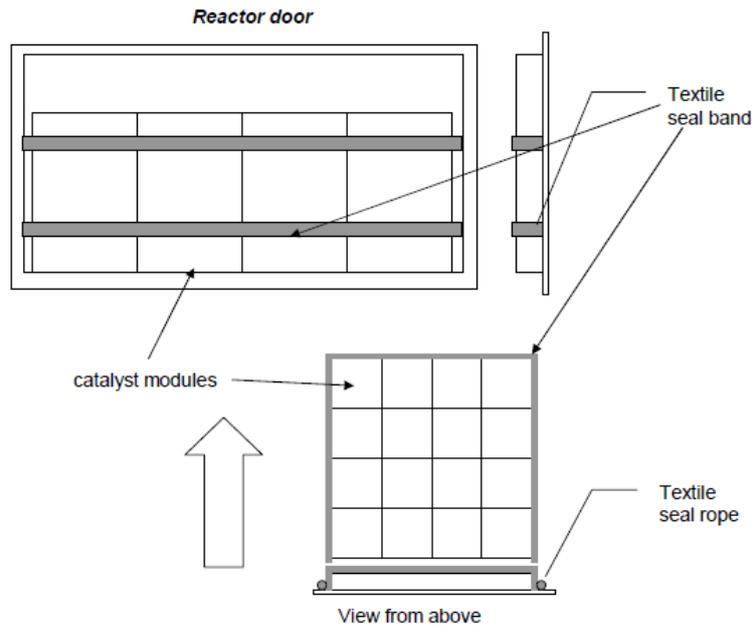
La banda textil debe poder utilizarse para temperaturas de 600 °C.

Para los tornillos se utiliza pasta de cobre.

Se debe tener cuidado de no someter a impactos el catalizador como choques contra la estructura durante la manipulación.

Evitar los trabajos de instalación durante el tiempo lluvioso para evitar que el catalizador se moje.

Sin el consentimiento de H+H, los bastidores del catalizador no se desmontarán, ni reconstruirán, ni se modificarán de ninguna forma in situ.



*Ilustración 34: Esquema de colocación de los módulos catalizadores*  
*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

En caso de que el motor no funcione correctamente, la instalación del catalizador no debe realizarse hasta que se controlen los fallos de encendido, la emisión de hidrocarburos no quemados, el consumo excesivo de aceite lubricante y otros riesgos. El catalizador debe colocarse una vez finalizada la puesta en servicio del motor y asegurado un funcionamiento estable del motor.

### **3.4.6.2. Limpieza de los catalizadores**

Paso 1:

Apagar el motor y dejar enfriar el reactor.

Retirar las partes de la cubierta extraíble del aislamiento en las tapas de inspección y las puertas del reactor.

Abrir todas las tapas de la carcasa del reactor y retirar las juntas. Enfriar el catalizador.

Paso 2:

Eliminar los depósitos de los catalizadores SCR:

- Eliminar los depósitos con un potente aspirador. La distancia máxima desde el cabezal de limpieza hasta la superficie del catalizador será de 50 mm para evitar dañar la superficie del catalizador.
- Soplar el catalizador desde el lado de salida (lado libre de depósitos) con aire comprimido limpio y sin aceite. La distancia de soplado debe ser aproximadamente de 50 a 60 cm. Limpiar los depósitos restantes con una aspiradora de la carcasa del reactor.

No se debe soplar las partículas en los canales del catalizador para no dañarlo.

Existe un riesgo potencial de formación de polvo, por lo que se recomienda llevar una máscara de protección durante la ejecución de las obras.

Para mantener las garantías del fabricante, se deben respetar estrictamente los siguientes valores:

<b>Tóxicos Catalizador</b>	<b>Concentración Tóxicos Catalizador (mg/m<sup>3</sup>)</b>
	Concentración
Metales Alcalinos	máx. 5
Metales Alcalinotérreos	máx. 1
Ácido Clorhídrico, Cloritos	máx. 100
Ácido Fluorhídrico, Fluoruros	máx. 1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Fósforo Orgánico, Compuestos	máx. 0,005
Mercurio, Zinc	máx. 0,1
Plomo, Cadmio	máx. 0,1
Arsénico, Compuestos Arsénico	máx. 0,005

*Tabla 4: Concentración máxima de tóxicos admisibles en el catalizador*

*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

### **3.4.7. Cuadro Analizador de NO<sub>x</sub>**

En el cuadro analizador se mide la concentración de NO<sub>x</sub> después del reactor SCR. Cada motor con sistema SCR operativo será monitoreado durante 15 minutos (este

tiempo se puede ajustar en el cuadro de control SCR). La elección de qué motor se medirá es un proceso automático también controlado en el cuadro de control SCR.

Se encuentra en la cubierta 8, en el guardacalor.

Está formado por:

- 1 armario analizador de NO<sub>x</sub> con analizador BA5000 de Bühler Technologies y tratamiento de gas de muestra y aire acondicionado.
- Sondas de gas de muestra GAS 222.17 de Bühler Technologies (una sonda de gas para cada motor) con tubo de muestreo.
- Línea de gas de muestra (una línea de gas para cada motor). Longitud máxima: 15 m cada línea.

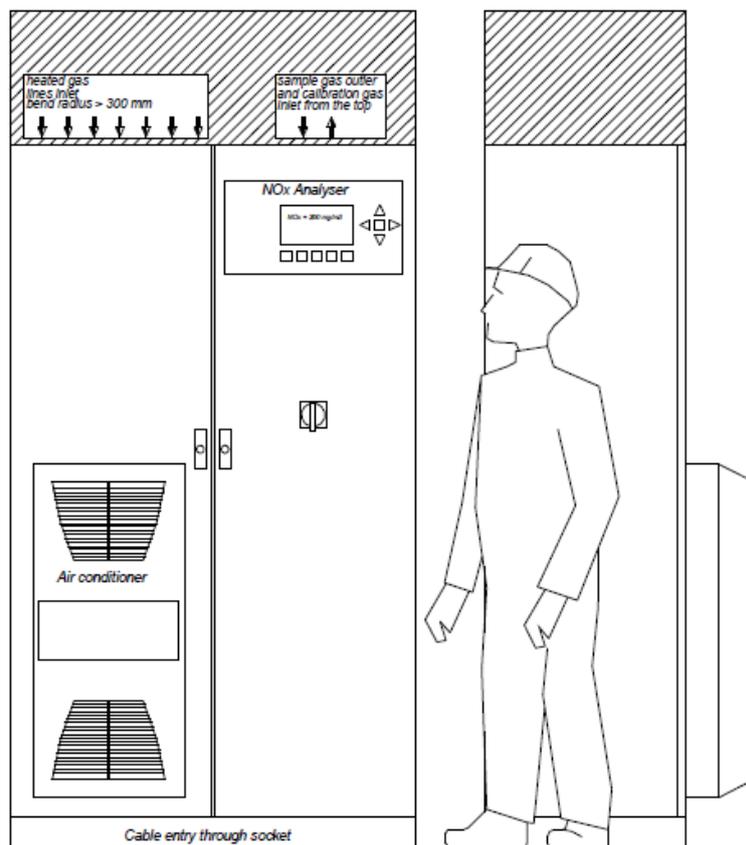


Ilustración 35: Esquema del armario del analizador de NO<sub>x</sub>

Fuente: Manual H+H Engineering & Service



*Ilustración 36: Armario del analizador de NO<sub>x</sub>*

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro debe colocarse cerca de las sondas de gas.

La longitud máxima de cada línea de gas de muestra debe ser de unos 15 m. Todas las tuberías están instaladas con un cierto ángulo, siendo el analizador el punto más bajo para mantener el condensado fuera de las mangueras.

El radio de curvatura máximo de las líneas de gas de muestra debe ser de 300 mm.

Se debe evitar enrollar la línea, o de lo contrario pueden producirse daños debido a la acumulación de calor.

No se debe cubrir la línea de gas de muestra.



*Ilustración 37: Sonda de muestra de los gases de escape*

*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

El sistema analizador de NO<sub>x</sub> está provisto de un sistema de calibración automático. El gas de calibración necesario es aire ambiente. Por lo tanto, hay instalada una conexión de tubería hacia el exterior del embudo (tubería de acero inoxidable de 6 mm de diámetro exterior, 1 mm de espesor) para aire fresco.

Hay instalado un tubo de acero inoxidable de 8 mm de diámetro exterior, 1 mm de espesor para disipar el gas de muestra.

Antes de montar la sonda de gas de muestra en la brida, se instala la línea de muestreo en la sonda de tal forma que tome la muestra casi desde el centro del tubo de gases de escape.



*Ilustración 38: Analizador de NO<sub>x</sub> modelo BA 5000 de Bühler Technologies*

*Fuente: Elaboración propia*

Para cada línea de gases de escape, se necesita una línea de gas de muestra para conectar el sistema SCR al cuadro del analizador de NO<sub>x</sub>.

Las tuberías son mangueras de PVDF (fluoruro de polivinilideno) con una protección térmica, que mantiene la temperatura a aproximadamente 155 °C.

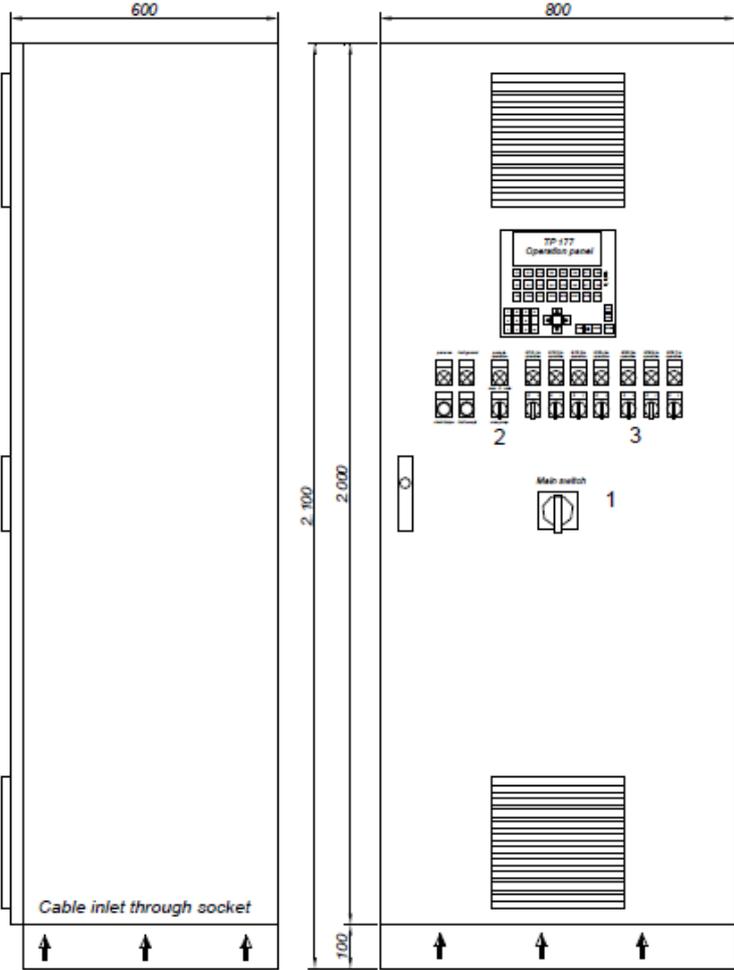
### **3.4.8. Cuadro de Control SCR**

La función principal del sistema combinado de control y regulación de la planta SCR consiste en mantener la emisión de NO<sub>x</sub> por debajo de un valor nominal dado - aprox. 80 - 99% del límite de emisión admisible.

En el sistema de medición de emisiones, la concentración de gas limpio de NO se registra continuamente como valor de control adicional. Dependiendo de la desviación

entre el valor de control y el valor nominal, el procesador determina el volumen de agente reductor a inyectar en el gas de escape.

Por medio de la característica operativa, es posible una dosificación previa rápida del agente reductor. Además, el circuito adicional para controlar la concentración de gas limpio de NO minimiza el consumo de agente reductor mediante una dosificación precisa en cualquier momento de funcionamiento e independiente de la edad del catalizador.



*Ilustración 39: Esquema del cuadro de control*  
*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

Una vez que se arranca el motor y se alcanza la temperatura inferior límite de reacción en el catalizador y se alcanza el límite mínimo de demanda de la urea, se pone en marcha el sistema de dosificación de agente reductor.

El equipamiento técnico del sistema de regulación incluye las siguientes funciones de control y seguridad:

- Evaluación de la señal NO del analizador de gases.
- Puesta en marcha del proceso de dosificación de urea después de la verificación del sistema.
- Predosificación de urea mediante control de características operativas.
- Control del flujo del agente reductor.
- Dosificación precisa de urea por NO-control.
- Control de todas las funciones de seguridad y de la disponibilidad operativa de la unidad de suministro.
- Control del funcionamiento automático del soplador de hollín.



*Ilustración 40: Cuadro de control*

*Fuente: Elaboración propia*

El tablero de interruptores permite un fácil control y operación de la planta completamente automática por medio de los siguientes equipos:

- Menú de ajuste de parámetros: Los parámetros operativos de la planta se pueden ajustar sin modificar el programa. Esto también se aplica a la asignación del rendimiento de la planta, el flujo nominal del agente reductor y el ajuste específico del sistema de control de flujo. A este respecto, la visualización y la entrada son gráficas y / o numéricas.
- Protección con contraseña para el personal de servicio: Las funciones de parametrización están protegidas por contraseñas y, por tanto, solo son

accesibles para el personal de servicio u operadores autorizados. Modificaciones complicadas del programa in situ, p. Ej. para la parametrización del sistema de control ya no son necesarios.

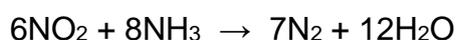
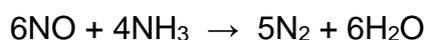
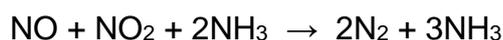
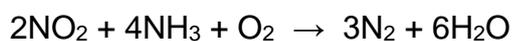
- Monitor de señales de alarma: Se muestran todas las señales de avería o alarma. Además, los mensajes de alarma colectiva se anuncian mediante una lámpara de señalización.

Para la instalación del armario de control y las cajas de distribución, la longitud del cable Profibus no debe exceder los 150 m. La temperatura ambiente para el armario de control no debe ser superior a 40 °C y las cajas de conexiones para el reactor deben instalarse como máximo con una distancia de cable de 50 m de los sensores, como el transductor de presión o el termopar.

### 3.5. Método

#### 3.5.1. Proceso químico

Cuando se utiliza el método de reducción selectiva, mediante la adición de amoníaco (NH<sub>3</sub>) o Urea [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] a los gases de escape, en presencia de exceso de O<sub>2</sub>, y utilizando un catalizador apropiado, y en unas condiciones de temperatura adecuadas los óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>) se transforman en nitrógeno (N<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O). Debido al hecho de que estos agentes son constituyentes naturales del aire, en el caso del presente método no ocurren problemas relacionados con los residuos. Éstas son las principales reacciones químicas que se generan:



Por tanto, la relación molar  $\text{NH}_3 / \text{NO}_x$  que es importante para el consumo de  $\text{NH}_3$  es 1. Ya que un exceso de agente reductor conducirá a emisiones no deseadas de agente reductor a la atmósfera, y una dosificación inferior a la necesaria, conducirá a unos porcentajes de reducción de  $\text{NO}_x$  inferiores a los deseados.

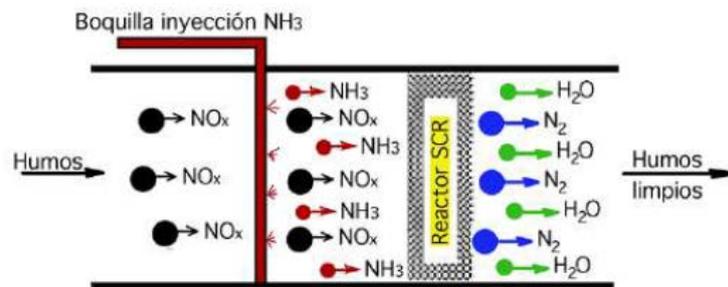
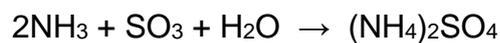


Ilustración 41: Proceso de reducción catalítica selectiva (SCR)

Fuente: pfernandezdiez.es

La denominación como “selectiva” que otorgamos al proceso SCR, tiene lugar debido a que conseguimos que el amoníaco reaccione selectivamente con los  $\text{NO}_x$ , y que, sin embargo, no reaccione con el oxígeno.

La temperatura de los gases de escape antes del catalizador también es muy importante. Si la inyección de agente reductor se realiza a una temperatura demasiado baja con un combustible que contienen altos porcentajes de azufre como el HFO, el  $\text{SO}_3$  puede reaccionar con el  $\text{H}_2\text{O}$ , y con el amoníaco todavía existente en los gases de escape, para formar ácido sulfúrico y sales de amonio:

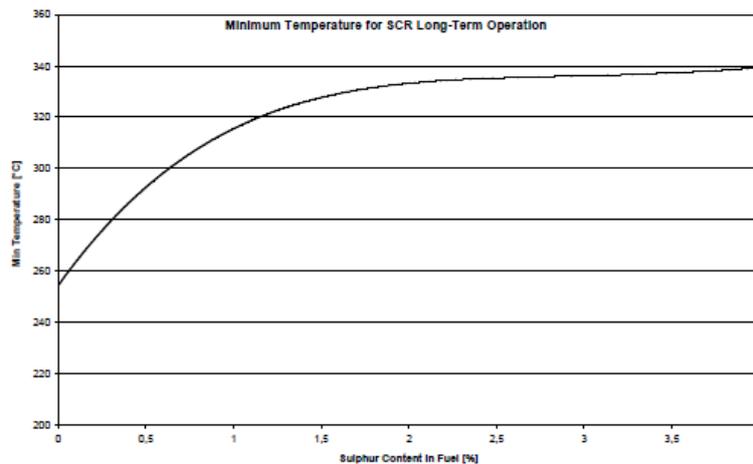


La velocidad de reacción para la formación de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  es mucho menor que la del  $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$ . Esto da como resultado la formación preferencial de  $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$  a altas velocidades de enfriamiento. Esta sustancia tiene las propiedades indeseables de ser

viscosa, adhesiva y corrosiva. Todos los componentes en la dirección de los gases de escape en el lugar donde se genera el  $(\text{NH}_4)\text{HSO}_4$  o aguas abajo están en riesgo.

Estas sales de amoníaco pueden condensarse en los poros del catalizador, lo que da como resultado la desactivación.

También la formación de ácido sulfúrico puede provocar problemas de corrosión aguas abajo.



*Ilustración 42: Relación entre la temperatura de los gases de escape y el contenido de azufre en el combustible  
Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

Este efecto se produce con mayor intensidad cuanto menor sea la temperatura de los gases de escape en el catalizador y mayor sea el porcentaje de azufre contenido en el combustible. Esto se puede prevenir manteniendo una temperatura mínima permitida en función de las concentraciones de  $\text{SO}_3$  y  $\text{NH}_3$  superior a  $300\text{ }^\circ\text{C}$  a la entrada del reactor y teniendo un catalizador altamente selectivo.

### **3.5.2. Funcionamiento**

Para poner en marcha el sistema SCR se realizan los siguientes pasos:

1. Se coloca el interruptor principal del cuadro de control en “ON”.
2. Se gira el interruptor de la bomba en el cuadro de control a “Automático” (la posición “Manual” solo se debe poner cuando se le va a realizar algún tipo de mantenimiento).

3. Colocar los interruptores de operación de cada motor en el cuadro de control en "ON".
4. Girar el interruptor del analizador de NO<sub>x</sub> en "ON" en el armario del analizador.
5. Quitar el interruptor de drenaje dentro del armario.



*Ilustración 43: Tablero de interruptores del cuadro de control*

*Fuente: Elaboración propia*

Para que el sistema se ponga en funcionamiento necesita que se cumplan una serie de condiciones:

- La temperatura de los gases de escape en el reactor sea superior a 300 °C.
- El suministro de aire comprimido esté conectado y tenga una presión superior a 6 bar.
- No haya encendida ninguna alarma de fallo.

Una vez que se arranca el motor y se alcanza la temperatura inferior límite de reacción en el catalizador y se alcanza el límite mínimo de demanda de la urea, se pone en marcha el sistema de dosificación de agente reductor.

Una parte de los gases de escape pasa a través de la sonda de gas de muestra, que se encuentra por encima del reactor del catalizador, y llegan al armario del analizador. Allí se mide la concentración de NO<sub>x</sub> que contienen. Cada motor es monitoreado durante 10 minutos y la elección de qué motor se medirá es un proceso automático controlado por el cuadro de control.

Los datos obtenidos por el analizador de NO<sub>x</sub> se envían al cuadro de control que los analiza y realiza una relación funcional entre la emisión de NO<sub>x</sub>, la carga del motor y el caudal de agente reductor resultante, que se registra en el sistema de control digital

(PLC) como característica operativa. Mediante esta característica operativa se realiza una predosificación sin retardo del agente reductor en función de la carga.

Además, un control de circuito cerrado compara el flujo de agente reductor medido con el valor nominal registrado de la necesidad de agente reductor, que depende de la carga.

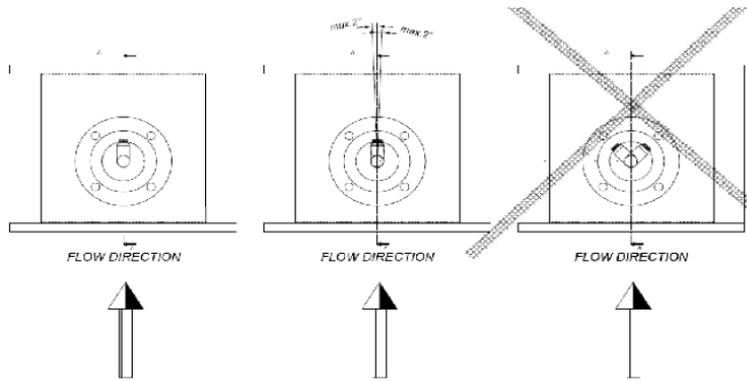
En el sistema de medición de emisiones, la concentración de gas limpio de NO se registra continuamente como valor de control adicional. Dependiendo de la desviación entre el valor de control y el valor nominal, el procesador determina el volumen de agente reductor a inyectar en el gas de escape.

Por medio de la característica operativa, es posible una dosificación previa rápida del agente reductor. Además, el circuito adicional para controlar la concentración de gas limpio de NO minimiza el consumo de agente reductor mediante una dosificación precisa en cualquier momento de funcionamiento e independiente de la edad del catalizador.

Cuando un motor se pone en marcha, antes de inyectar la urea por la lanza, se abren las válvulas de aire comprimido del panel de dosificación correspondiente durante 200 segundos para enfriar la boquilla. Pasado el tiempo de enfriamiento la válvula de aire se cierra y al mismo tiempo se abre la válvula de urea. Cuando el motor se detiene, se cierra la válvula de urea, se deja de inyectar la urea y se vuelven a abrir las válvulas de aire comprimido durante 600 segundos para limpiar y enfriar toda la línea y no quede ningún residuo de urea. Pasado el tiempo de limpieza, las válvulas de aire se cierran y el sistema se queda esperando la próxima puesta en marcha del motor.

El agente reductor es inyectado a presión a través de una lanza co-axial, mezclado con aire comprimido a 7 bar de presión, produciendo un fino chorro vaporizado. Las gotas que se generan son extremadamente finas con una gran superficie específica, que mejora la unión con los gases de escape de los motores.

La boquilla de inyección debe instalarse exactamente en la dirección del flujo y lo más al centro posible del tubo de escape para que la homogeneización de los gases con la urea sea la correcta.



*Ilustración 44: Dirección de colocación de la lanza de inyección*

*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

El sistema está diseñado para que el agente reductor no sufra un significativo aumento de la temperatura dentro del propio sistema, sino que lo haga una vez mezclado con los gases. Si se produce ese aumento de temperatura puede formarse productos de reacción polimoleculares, como biuret o melanina, en las boquillas como resultado de la descomposición térmica de la urea, lo que puede provocar obstrucciones.

Una vez mezclada la urea con los gases de escape, se calienta rápidamente con la liberación de  $\text{NH}_3$ , lo que se ve reforzado con la gran superficie específica que tiene el fino líquido vaporizado, y entran en la caja del reactor y pasan a través de los módulos catalizadores donde se producen las reacciones anteriormente descritas entre los  $\text{NO}_x$  y el  $\text{NH}_3$ .



*Ilustración 45: Válvulas de soplado de hollín del reactor*

*Fuente: Elaboración propia*

Los reactores disponen de un sistema de soplado de hollín que inyectan aire a 6 bar de presión para evitar que los paneles de los módulos se obstruyan. El PLC del cuadro

de control pondrá en marcha el soplado del motor correspondiente una vez se ponga en marcha el motor. Nunca se debe quitar la conexión de aire mientras los motores estén en funcionamiento ya que se detendría el sistema de soplado de hollín y se dañarían las válvulas de soplado debido al calor.

Para controlar la temperatura a la entrada y salida de la caja del reactor hay instalados unos sensores de temperatura que controlan la temperatura de los gases de escapes.



*Ilustración 46: Sensores de temperatura a la entrada y salida del reactor*

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.5.3. Modos de operación**

Una vez puesto en marcha el sistema, todo el proceso se realiza de forma automática y no se requiere ninguna acción del operador. A continuación, se describen los distintos modos de operación y las circunstancias que deben cumplirse para comenzar a operar:

#### **3.5.3.1. Modo “Stand by”**

- Interruptor principal en el cuadro de control SCR en "ON"
- Interruptor de la bomba en "automático"
- Al menos un interruptor de operación SCR "encendido"
- Señal de motor "encendida"

La estación de bombeo debe estar funcionando.

### **3.5.3.2. Modo Arranque “Refrigeración/Limpieza”**

- Interruptor principal en el cuadro de control SCR en "ON"
- Interruptor de la bomba en "automático"
- Interruptor de un motor en “ON”
- Demanda de urea por encima del mínimo establecido
- Temperatura antes y después del reactor SCR superior al mínimo establecido
- No hay alarmas en la estación de bombeo

### **3.5.3.3. Modo “Dosificación”**

- Interruptor principal en el cuadro de control SCR en "ON"
- Interruptor de la bomba en "automático"
- Interruptor de un motor en “ON”
- Señal del motor en “ON”
- Demanda de urea por encima del mínimo establecido
- Temperatura antes y después del reactor SCR superior al mínimo establecido
- No hay alarmas en la estación de bombeo
- Presión del aire de atomización y refrigeración superior a 4,5 bar
- La presión de urea en el panel de dosificación correspondiente es mayor que el mínimo establecido

### **3.5.3.4. Modo “Parar a Stand by”**

- Interruptor principal en el cuadro de control SCR en "ON"
- Interruptor de la bomba en "automático"
- Interruptor de un motor en “ON”
- Señal del motor en “OFF” o
- Demanda de urea por debajo del mínimo establecido o
- Temperatura antes del reactor SCR por debajo del mínimo establecido o
- Temperatura después del reactor SCR por debajo del mínimo establecido

### **3.5.3.5. Modo “Apagado”**

- “Error fatal” (p.ej. presión de aire de atomización demasiado baja, rotura de cables de los dispositivos de campo...) o
- Interruptor principal en el cuadro de control SCR en "OFF"

Cuando ocurre esto el sistema se apagará de la misma manera que en el modo “Stand by”. El operador debe eliminar la causa de los errores. Después de eliminar la causa del error, el operador debe presionar el botón "Aceptar Fallo".

## 4. RESULTADOS

La empresa fabricante H+H Engineering & Service realizó unas pruebas el día 9 de noviembre de 2018 en los astilleros Factorías Vulcano, para comprobar la correcta instalación del sistema y configurar los valores de funcionamiento.

A continuación, explicaremos los datos de dichas pruebas de los tres motores auxiliares Wartsilä 6L20.

El combustible utilizado fue MDO y se configuró el sistema para un máximo de azufre en el combustible del 0,5%.

El agente reductor utilizado para la prueba fue una solución de urea al 40%.

<b>Physical properties:</b>			
<u>Parameter</u>	<u>Min.</u>	<u>Max.</u>	<u>Unit</u>
Density	1.105	1.115	kg/m <sup>3</sup>
Urea content	39.0	41.0	% by weight
Alkalinity (as NH <sub>3</sub> )		0.5	% by weight
Biuret		0.8	% by weight
Aldehydes		100	mg/kg
Insoluble matter		50	mg/kg
Total Phosphorus (as PO <sub>4</sub> )		1.0	mg/kg
Calcium		1.0	mg/kg
Sodium		1.0	mg/kg
Potassium		1.0	mg/kg
Iron		1.0	mg/kg
Magnesia		1.0	mg/kg

*Ilustración 47: Propiedades física de la urea*

*Fuente: Manual H+H Engineering & Service*

Como se dijo anteriormente, la temperatura mínima de los gases de escape para que comience la inyección de urea, se establece en 300 °C a la entrada del reactor.

El flujo de gases de escape de los motores según el fabricante es de 6.450 Nm<sup>3</sup>/h al 100% de carga.

El objetivo establecido por el fabricante es el de disminuir la concentración de NO<sub>x</sub> por debajo de 0,5 g/kWh.

Para realizar el ajuste del sistema, la prueba se hace con la carga del motor entre el 20% y el 100%, y las medidas se toman en intervalos de tiempo. En este caso, se

tomaron 4 registros de datos a diferentes cargas durante un tiempo de entre 10 y 15 minutos cada intervalo.

Primero se toman todos los datos necesarios sin el sistema SCR funcionando, aumentando gradualmente la carga del motor hasta el 100%.

Una vez obtenidos todos los datos sin inyectar la urea, se pone en funcionamiento el SCR y se comienza a bajar la carga de los motores entre un 20% o 25% aproximadamente, manteniéndolos así durante un intervalo de tiempo que varía entre 10 o 15 minutos.

DeNOx Measuring Protocol A.E. 1																						
<b>Project:</b> Villa de Teror <b>Project no.:</b> PN10205 <b>Measured by:</b> Ingemar Tauber <b>Location:</b> Vigo Spain <b>Date:</b> 09.11.2018										<b>Meas. Device:</b> BA5000/ U23 <b>Ambient Cond.:</b> Rainy <b>Ambient Temp.:</b> -15 °C												
<b>Engine</b> Engine 3 Engine Wartsilä Type 6L20 Power 1 080 kW Gas flow 6 450 Nm³/h Speed 1000 RPM Fuel type MDO MGO spec. <0.5% sulphur HFO spec. <2.0% sulphur			<b>DeNOx Design Data</b> Red. agent 40 % Urea Fuel type MDO 0,2 % max sulphur Fuel type HFO 2,0 % max sulphur NOx target 0,5 g/kWh NOx raw contract 10,8 g/kWh CO tolerance 5 % Exh. temp. design 380 °C Exh. temp. max. 510 °C				<b>Setpoints</b> Pump red. press. 6/9 7 bar Dos. red. press. 6/9 7 bar Dos. air press. 4/3,5 4,5 bar Dos. valve adj. 300/410 0,35 l/h Dos. valve type 3833 1,0 Flow ctrl p/tl 2,0 / 2,0 NOx ctrl p/tl --- NOx ctrl target --- ppm Exh. temp. max 505/495 °C				<b>Operation</b> Pump red. press. 6/9 7 bar Dos. red. press. 6/9 7 bar Dos. air press. 4/3,5 4,5 bar Dos. valve adj. 300/410 0,35 l/h Dos. valve type 3833 1,0 Flow ctrl p/tl 2,0 / 2,0 NOx ctrl p/tl --- NOx ctrl target --- ppm Exh. temp. max 505/495 °C				<b>Start-up Conditions</b> Engine load min. ~20/15 % Urea flow min. 6/4 l/h Temp. min. GAS --- °C Temp. min. MGO 300/295 °C Temp. min. HFO --- °C Cool/Clean time 200/600 s				<b>Comment</b> NO raw act. 10,0 g/kWh Exhaust temperature out of design range			
Time	Engine load %	Engine load %	Engine speed rpm	Engine load kW	Volume flow Nm³/h	Charge press. bar	Temp. bet. cat °C	Temp. aft. cat °C	Delta p cat mbar	p Urea pump bar	p Urea dos. unit bar	Dosing valve %	NO raw ppm	NOx raw ppm	NO raw mg/Nm³ @ref.O2	NO raw g/kWh	NOx value ppm	O2 value %	NOx(*) mg/Nm³ @ref.O2	NOx (**) g/kWh	MDO red. agent flow l/h	
0	0	0	68	406																		
1	stop	12,5	1 295	395																		
2	start	18,8	203	1 213																	2,4	
3	19:35	28	25,0	1022	270	1 613	0,50	323	322	7,0	7,1	7	500			6,12	26		0,32		2,9	
4	5	31,3	338	2 019																	3,5	
5	6	37,5	405	2 419																	4,2	
6	7	45	45,8	1014	473	2 825	1,20	325	322	7,0	7,1	9	644			7,88	33		0,40		5,2	
7	8	50,0	540	3 225																	6,2	
8	9	56,3	608	3 631																	7,2	
9	10	62,5	675	4 031																	8,3	
10	11	66	66,8	1005	743	4 438	2,00	322	322	7,0	7,1	20	753			9,22	38		0,47		9,4	
11	12	75,0	810	4 838																	10,7	
12	13	81,3	878	5 244																	12,0	
13	14	89	87,5	1000	945	5 544	2,70	315	309	7,0	7,1	45	802			9,82	29		0,36		13,2	
14	15	91	93,8	1002	1 013	6 050	2,80						815			9,98					14,3	
15	16	100,0			1 080	6 450															15,0	
<b>Measurement</b>																						
	ECR	TP	ECR	ECR	ECR	ECR	αCO10	αCO20	αCO10	αCO10	αCO20		Analysed Backscat Urea	Analysed Backscat Urea	calc.	calc.	Analysed Backscat Urea	Analysed Backscat Urea	calc.	calc.	αCO10	
<small>* Engine load in % from SCR TP (calculated for injection)            ** Calculated from raw value</small>																						

Ilustración 48: Datos de reducción de emisión de NOx del M.A. nº1

Fuente: H+H Engineering & Service

DeNOx Measuring Protocol A.E. 2																						
Project: Villa de Teror		V1.8																				
Project no. PN10205																						
Measured by: Ingemar Tauber		Meas. Device: BA5000/ U23																				
Location: Vigo Spain		Ambient Cond.: Rainy																				
Date: 09.11.2018		Ambient Temp.: -15 °C																				
<b>Engine</b> Engine 4 Wärtsilä Type 6L20 Power 1 080 kW Gas flow 6 450 Nm³/h Speed 1000 RPM Fuel type MDO MGO spec. <0,5% sulphur HFO spec. <2,0% sulphur		<b>DeNOx Design Data</b> Red. agent 40 % Urea Fuel type MDO 0,2 % max sulphur Fuel type HFO 2,0 % max sulphur NOx target 0,5 g/kWh NOx raw contract 10,8 g/kWh CO tolerance 5 % Exh. temp. design 330 °C Exh. temp. max. 510 °C				<b>Setpoints</b> Pump red. press. 6/9 7 bar Dos. red. press. 6/9 7 bar Dos. air press. 4/3,5 4,5 bar Dos. valve adj. 300/410 0,35 /h Dos. valve type 2833 1,0 Flow ctrl p/H 2,0 / 2,0 NOx ctrl p/H --- NOx ctrl target --- ppm Exh. temp. max. 505/495 °C				<b>Operation</b> Engine load min. ~20/15 % Urea flow min. 6/4 l/h Temp. min. GAS ---/--- °C Temp. min. MGO 300/295 °C Temp. min. HFO ---/--- °C Cool/Clean time 200/600 s				<b>Start-up Conditions</b> NO raw act. 10,7 g/kWh Exhaust temperature out of design range.				<b>Comment</b> NO raw act. 10,7 g/kWh Exhaust temperature out of design range.				
Time	Engine load %	Engine load 7 %	Engine speed rpm	Engine load # kW	Volume flow # Nm³/h	Charge press. bar	Temp. bet. cat °C	Temp. aft. cat °C	Delta p cat mbar	p Urea pump bar	p Urea dos. unit bar	Dosing valve %	NO raw ppm	NOx raw ppm	NO raw mg Nm³ @ref O2	NO raw g/kWh	NOx value ppm	O2 value %	NOx(*) mg Nm³ @ref O2	NOx (**) g/kWh		MDO red. agent flow l/h
0	0																					
1	6,3		68	406																		
2	stop	12,5	135	806																		
3	start	18,8	203	1 213																		2,9
4	24	25,0	1007	270	1 613	0,40	317	327		7,0	7,2	22	462			5,66	32		0,39			3,5
5	31,3		338	2 019																		4,2
6	37,5		405	2 419																		5,0
7	45	43,8	995	473	2 525	1,20	322	328		7,0	7,2	26	561			6,87	36		0,44			5,9
8	50,0		540	3 225																		6,9
9	55,3		608	3 631																		7,9
10	62,5		675	4 031																		9,0
11	68	68,8	987	743	4 438	2,10	320	325		7,0	7,1	31	732			8,96	35		0,43			10,2
12	75,0		810	4 838																		11,5
13	81,3		878	5 244																		12,7
14	87,5		945	5 644																		13,8
15	94	93,8	975	1 013	6 050	2,90	323	323		7,0	7,2	40	871			10,66	33		0,40			14,7
16	100,0		1 080	6 450																		15,5
Measurement	ECR	TP	ECR	ECR	ECR	ECR	sCTo10	sCTo20	sCPe10	sCPe20	sCPe30	Analizer BA5000/ U23	Analizer BA5000/ U23	calc.	calc.	Analizer BA5000/ U23	Analizer BA5000/ U23	calc.	calc.			sCFo10
* Engine load in % from SGR TP (calculated for injection)																						
** calculated from max value																						

Ilustración 49: Datos de reducción de emisión de NOx del M.A. nº2

Fuente: H+H Engineering & Service

DeNOx Measuring Protocol A.E. 3																						
Project: Villa de Teror		V1.8																				
Project no. PN10205																						
Measured by: Ingemar Tauber		Meas. Device: BA5000/ U23																				
Location: Vigo Spain		Ambient Cond.: Rainy																				
Date: 09.11.2018		Ambient Temp.: -15 °C																				
<b>Engine</b> Engine 5 Wärtsilä Type 6L20 Power 1 080 kW Gas flow 6 450 Nm³/h Speed 1000 RPM Fuel type MDO MGO spec. <0,5% sulphur HFO spec. <2,0% sulphur		<b>DeNOx Design Data</b> Red. agent 40 % Urea Fuel type MDO 0,2 % max sulphur Fuel type HFO 2,0 % max sulphur NOx target 0,5 g/kWh NOx raw contract 10,8 g/kWh CO tolerance 5 % Exh. temp. design 330 °C Exh. temp. max. 510 °C				<b>Setpoints</b> Pump red. press. 6/9 7 bar Dos. red. press. 6/9 7 bar Dos. air press. 4/3,5 4,5 bar Dos. valve adj. 300/410 0,20 /h Dos. valve type 2833 1,0 Flow ctrl p/H 2,0 / 2,0 NOx ctrl p/H --- NOx ctrl target --- ppm Exh. temp. max. 505/495 °C				<b>Operation</b> Engine load min. ~20/15 % Urea flow min. 6/4 l/h Temp. min. GAS ---/--- °C Temp. min. MGO 300/295 °C Temp. min. HFO ---/--- °C Cool/Clean time 200/600 s				<b>Start-up Conditions</b> NO raw act. 10,6 g/kWh Exhaust temperature out of design range.				<b>Comment</b> NO raw act. 10,6 g/kWh Exhaust temperature out of design range.				
Time	Engine load %	Engine load 7 %	Engine speed rpm	Engine load # kW	Volume flow # Nm³/h	Charge press. bar	Temp. bet. cat °C	Temp. aft. cat °C	Delta p cat mbar	p Urea pump bar	p Urea dos. unit bar	Dosing valve %	NO raw ppm	NOx raw ppm	NO raw mg Nm³ @ref O2	NO raw g/kWh	NOx value ppm	O2 value %	NOx(*) mg Nm³ @ref O2	NOx (**) g/kWh		MDO red. agent flow l/h
0	0																					
1	6,3		68	406																		
2	stop	12,5	135	806																		
3	start	18,8	203	1 213																		3,0
4	25	25,0	998	270	1 613	0,60	307	319		7,0	7,2	38	546			5,68	32		0,39			3,5
5	31,3		338	2 019																		4,2
6	37,5		405	2 419																		5,2
7	43	43,8	990	473	2 525	1,10	311	321		7,0	7,1	45	671			8,22	37		0,45			6,2
8	50,0		540	3 225																		7,4
9	55,3		608	3 631																		8,6
10	62,5		675	4 031																		9,8
11	68	68,8	982	743	4 438	1,90	306	320		7,0	7,1	50	762			9,33	35		0,43			11,0
12	75,0		810	4 838																		12,1
13	81,3		878	5 244																		13,2
14	88	87,5	977	5 644	2,70		309	319		7,0	7,0	60	863			10,57	32		0,39			14,2
15	96	93,8	1 013	6 050			309	320		7,0	6,9	76					29		0,36			15,2
16	100,0		1 080	6 450																		16,0
Measurement	ECR	TP	ECR	ECR	ECR	ECR	sCTo10	sCTo20	sCPe10	sCPe20	sCPe30	Analizer BA5000/ U23	Analizer BA5000/ U23	calc.	calc.	Analizer BA5000/ U23	Analizer BA5000/ U23	calc.	calc.			sCFo10
* Engine load in % from SGR TP (calculated for injection)																						
** calculated from max value																						

Ilustración 50: Datos de reducción de emisión de NOx del M.A. nº3

Fuente: H+H Engineering & Service

Los datos obtenidos muestran unos resultados similares en los tres motores reduciendo la concentración de NO<sub>x</sub> por debajo del objetivo marcado por el fabricante de 0,5 g/kWh, lo que equivale a una reducción de más del 96%.

	NO <sub>x</sub> sin SCR (g/kWh)	NO <sub>x</sub> con SCR (g/kWh)	Reducción de NO <sub>x</sub> (%)
M.A. nº 1	10	0,33	96,7
M.A. nº 2	10,7	0,37	96,5
M.A. nº 3	10,6	0,34	96,8

*Tabla 5: Resultado de la reducción de los NO<sub>x</sub> en los MM.AA.*

*Fuente: Elaboración propia*

En las siguientes gráficas, se muestra el consumo de urea en l/h. Se observa como existe una relación lineal entre el consumo de urea y la carga del motor. Como es lógico, al aumentar la carga, mayor es el flujo de gases de escape del motor y, por consiguiente, se inyecta más urea. Por eso es importante un buen ajuste del sistema para que la dosificación de urea sea la adecuada y no haya un consumo elevado.

DeNOx Polygon A.E. 1

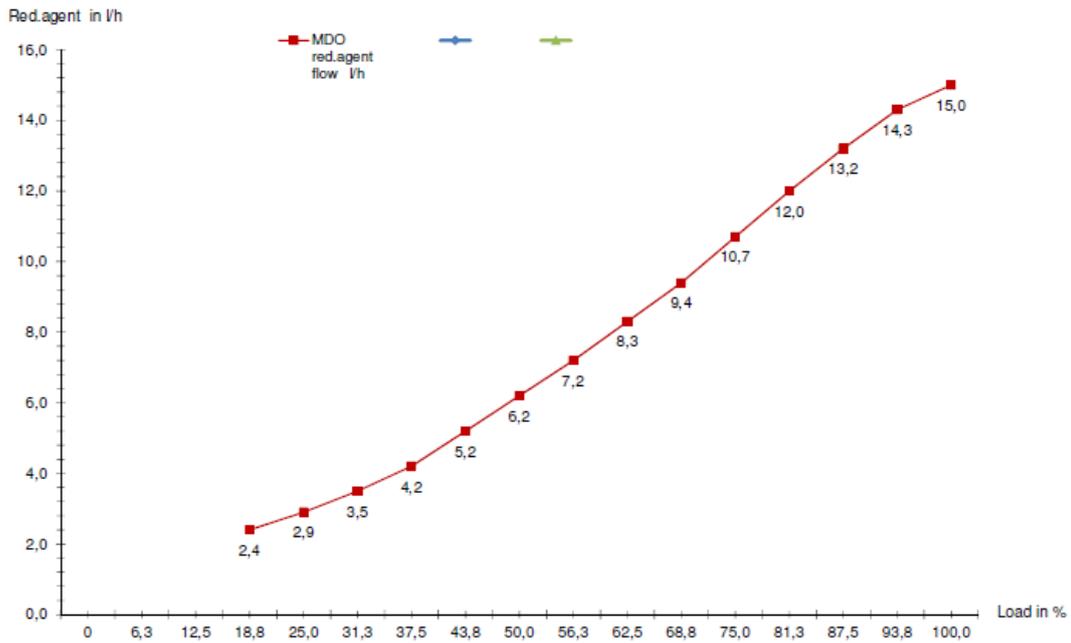


Ilustración 51: Curva de consumo de urea del M.A. nº1

Fuente: H+H Engineering & Service

DeNOx Polygon A.E. 2

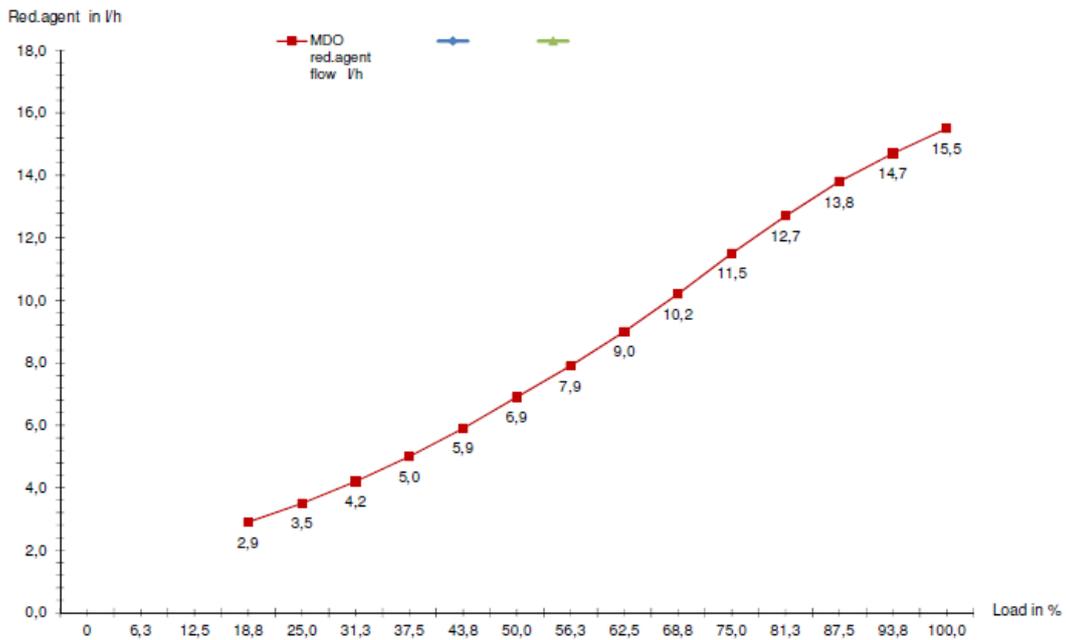


Ilustración 52: Curva de consumo de urea del M.A. nº2

Fuente: H+H Engineering & Service

### DeNOx Polygon A.E. 3

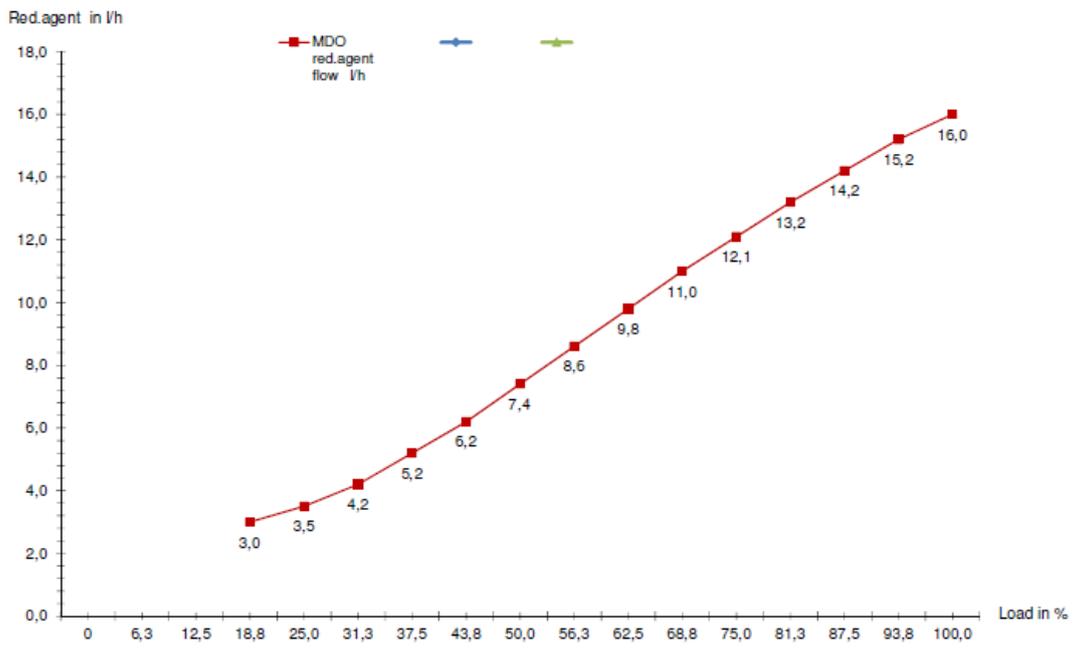


Ilustración 53: Curva de consumo de urea del M.A. nº3

Fuente: H+H Engineering & Service

## 5. CONCLUSIONES

Basándonos los datos obtenidos, el sistema de reducción catalítica selectiva tiene un rendimiento en cuanto la reducción de los NO<sub>x</sub> bastante alto, en este caso más del 96%. Todo ello sin producir ningún tipo de subproducto o ni residuo peligroso para la atmósfera, ya que los NO<sub>x</sub> son transformados en N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

A esto hay que añadirle que su facilidad de puesta en marcha y manejo, ya que una vez encendido el sistema, todo el funcionamiento se realiza de forma automática y que no afecta al rendimiento del motor, ya que no actúa en la combustión sino en en los gases de escape.

Los inconvenientes más importante que tiene el SCR son principalmente económicos. La instalación de este sistema es más costoso que los demas, al igual que su mantenimiento, debido al coste de sus piezas. También el consumo de urea es relativamente alto y, dependiendo de la zona de navegación del buque, puede generarse un problema de logística a la hora de adquirirla.

	EGR (2T) <130 rpm	SCR (2T) <130 rpm	EGR (4T) 400 - 1600 rpm	SCR (4T) Rango medio de rpm
Costes de Inversión (€/kW)	37 - 45	28 - 56	46 - 55	25 - 62
Costes de Operación (€/MWh)	2 - 3	4,3 - 10	5% - 8% de costes de combustible	2,7 - 7,2
Incremento SFOC	0,6	0	Véase punto anterior	1 - 2

*Tabla 6: Costes de inversión y explotación de los sistemas SCR y EGR en motores diésel de 2 y 4 tiempos*

*Fuente: Manuel Pedro Ortega Monserrat*

Teniendo en cuenta las ventajas y los inconvenientes del SCR, la intalación de este sistema es muy recomendable por su gran eficacia a la hora de mantener las emisiones por debajo de los valores permitidos por las normativas vigentes, y a los posibles endurecimientos de dichas normativas en el futuro.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

### Referencias

GALLEGO SOSA, F. J. (2015), Estudio bibliográfico del tratamiento de gases de escape de motores de combustión interna alternativos. *Universidad de Sevilla*.

PRIETO FERNANDEZ, I., Reducción de emisiones contaminantes en grande instalaciones de combustión. *Universidad de Oviedo*.

SOCÍAS FORTEZA, B. F. (2017), Análisis y metodología para la reducción de los gases NO<sub>x</sub>. *Universidad de Barcelona*.

ORTEGA MONSERRAT, M. P. (2014), Aportación a la investigación sobre la reducción de las emisiones de nox en grupos diesel utilizados para generación de energía eléctrica. *Universidad de las Palmas de Gran Canaria*.

WARTSILÄ, *Manual de operación y mantenimiento del motor W8L46F-CR*.

WARTSILÄ, *Manual de operación y mantenimiento del motor W6L20*.

H+H ENGINEERING & SERVICE, *Manual de operación y mantenimiento del sistema SCR*.

### Enlaces Web

DATASUR, “¿Qué combustible impulsará a los buques del mañana?”.

<https://www.datasur.com/que-combustible-impulsara-a-los-buques-del-manana/>

HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA, “Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)”.

<https://www.herramientasingeneria.com/tech/NOx/NOx.html#:~:text=Se%20produce%20a%20partir%20del,se%20liberan%20como%20%C3%A1tomos%20inestables>

CORDONCHEM ENVITECH, “NO<sub>x</sub> (Óxidos de Nitrógeno)”.

<https://condorchem.com/es/nox-oxidos-nitrogeno/>

EADIC, “*Contaminación ambiental por NO<sub>x</sub>: influencia de edad de los vehículos*”.  
<https://www.eadic.com/contaminacion-ambiental-por-nox-influencia-de-edad-de-los-vehiculos/>

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, “*Óxidos de nitrógeno*”. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>

FERNÁNDEZ DÍEZ, P., “*Centrales térmicas*”.  
[https://files.redsauce.net/js/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frsfm1.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands\\_RSM%2Fapi%2Fapi\\_getFile.php%3FitemID%3D202%26propertyID%3D20%26RStoken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38](https://files.redsauce.net/js/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frsfm1.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands_RSM%2Fapi%2Fapi_getFile.php%3FitemID%3D202%26propertyID%3D20%26RStoken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38)

H+H ENGINEERING & SERVICE, “*SCR systems*”. <https://huhes.de/scr-technology/scr-systems>

TRASMESHIPS, “*La compañía Trasmediterránea a través de sus buques*”.  
<https://www.trasmeships.es/los-buques/villa-de-teror/>

SHIPSPOTTING. <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2682763>

INGMARÍTIMA, “*Zonas ECA*”. <https://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>

ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, “*Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL)*”.  
[https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx#:~:text=Convenio%20internacional%20para%20prevenir%20la%20contaminaci%C3%B3n%20por%20los%20buques%20\(MARPOL\),-Home&text=Adopci%C3%B3n%3A%201973%20\(Convenio%20MARPOL\),\(Anexos%20I%20y%20II\)](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx#:~:text=Convenio%20internacional%20para%20prevenir%20la%20contaminaci%C3%B3n%20por%20los%20buques%20(MARPOL),-Home&text=Adopci%C3%B3n%3A%201973%20(Convenio%20MARPOL),(Anexos%20I%20y%20II))

RFL CARGO, “*El límite mundial de azufre en los buques para 2020*”.

<https://rflcargo.com/el-limite-mundial-de-azufre-en-los-buques-para-2020/>

B.O.E, “*Enmiendas al Código Técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos (Código Técnico sobre los NOx 2008)*”.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-6228>

GARCÍA SOUTULLO, R., “*Normativa, Tecnologías y Modificaciones para Reducir las Emisiones de SOx y NOx a la Atmósfera*”. <https://ingenieromarino.com/normativa-tecnologias-y-modificaciones-para-reducir-las-emisiones-de-sox-y-nox-a-la-atmosfera/>

## **Anexos**

### **1. Anexo I. Convenio MARPOL**

El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL) es el principal convenio internacional que versa sobre la prevención de la contaminación del medio marino por los buques a causa de factores de funcionamiento o accidentales. Se adoptó el 2 de noviembre de 1973, se modificó por el Protocolo de 1978 y entró en vigor el 2 de octubre de 1983.

En el Convenio figuran reglas encaminadas a prevenir y reducir al mínimo la contaminación ocasionada por los buques y actualmente incluye seis anexos técnicos:

- Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos (entrada en vigor 2 de octubre de 1983).
- Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel (entrada en vigor: 2 de octubre de 1983).
- Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos (entrada en vigor 1 de julio de 1992).
- Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques (entrada en vigor: 27 de septiembre de 2003).
- Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques (entrada en vigor: 31 de diciembre de 1988).
- Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques (entrada en vigor: 19 de mayo de 2005).

El Anexo VI, que se adoptó en 1997 y entró en vigor el 19 de mayo del año 2005, regula la contaminación atmosférica ocasionada por los buques estableciendo límites a las emisiones de SO<sub>x</sub> y de NO<sub>x</sub>.

En octubre de 2008, se adoptó el Anexo VI revisado y el Código Técnico conexo sobre los NO<sub>x</sub> 2008, que entraron en vigor el 1 de julio de 2010.

Los principales cambios en el Anexo VI fueron la reducción progresiva de las emisiones y la creación de las zonas de control de las emisiones (ECA) con el fin de

reducir aún más las emisiones de contaminantes atmosféricos en las zonas marítimas designadas.

También se redujo el contenido de azufre en los combustibles a nivel mundial del 3,50% al 0,50% con efectos a partir del 1 de enero de 2020.

Dentro del Anexo VI del Convenio MARPOL, la regla 13 es la que regula las emisiones de los gases NO<sub>x</sub> y se aplica a los motores diésel de más de 130 kW de potencia, instalados a bordo de los buques construido a partir del 1 de enero del año 2000 o que hayan sufrido una transformación importante después de esa fecha.

Quedan fuera de la aplicación de la regla 13, los motores diésel de emergencia, los motores instalados en los botes salvavidas y cualquier otro dispositivo o equipo previsto para utilizarse sólo en caso de emergencia. También los motores instalados en buques que sólo realizan viajes dentro de las aguas sometidas a soberanía o jurisdicción del Estado, con la condición de que los motores se sometan a otras medidas de control de los NO<sub>x</sub> establecida por la Administración.

Según la presente regla, se entiende por transformación importante:

- Si se sustituye el motor por otro nuevo construido a partir del 1 de enero del año 2000.
- Si se realiza una modificación importante del motor.
- Si se aumenta la velocidad de régimen máxima continua del motor en más de un 10%.

Cada vez que se realice una modificación de este tipo, la emisión resultante se documentará de conformidad con lo dispuesto en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> para que sea aprobado por la Administración.

Los niveles máximos de emisión de NO<sub>x</sub> para los motores marinos en dicho Anexo VI son los siguientes:

Nivel I (Tier I). Se aplica a todos los motores construidos entre el 1 de enero de 2000 y el 1 de enero de 2011.

<b>Niveles máximos de emisión de NOx (g/kWh)</b>	<b>Velocidad máxima motor (rpm)</b>
17	n<130
$45,0*n^{(-0,2)}$	130<n<2000
9,8	n>2000

\*n es la velocidad máxima del motor en r.p.m.

*Tabla 7: Niveles de emisión de NOx en el Nivel I*

*Fuente: Elaboración propia según MARPOL*

Nivel II (Tier II). Se aplica a todos los motores diésel construidos entre el 1 de enero de 2011 y el 1 de enero de 2016, o construidos a partir del 1 de enero de 2016 si el buque no opera en una zona de control de las emisiones (ECA).

<b>Niveles máximos de emisión de NOx (g/kWh)</b>	<b>Velocidad máxima motor (rpm)</b>
14,4	n<130
$44,0*n^{(-0,23)}$	130<n<2000
7,7	n>2000

\* n es la velocidad máxima del motor en r.p.m.

*Tabla 8: Niveles de emisión de NOx en el Nivel II*

*Fuente: Elaboración propia según MARPOL*

Nivel III (Tier III). Se aplica a todos los motores diésel construidos a partir del 1 de enero de 2016 cuando operan en una zona de control de emisiones (ECA).

<b>Niveles máximos de emisión de NOx (g/kWh)</b>	<b>Velocidad máxima motor (rpm)</b>
3,4	n<130
$9,0*n^{(-0,2)}$	130<n<2000
2,0	n>2000

\* n es la velocidad máxima del motor en r.p.m.

*Tabla 9: Niveles de emisión de NOx en el Nivel III*

*Fuente: Elaboración propia según MARPOL*

En la siguiente imagen se pueden observar los diferentes niveles establecidos:

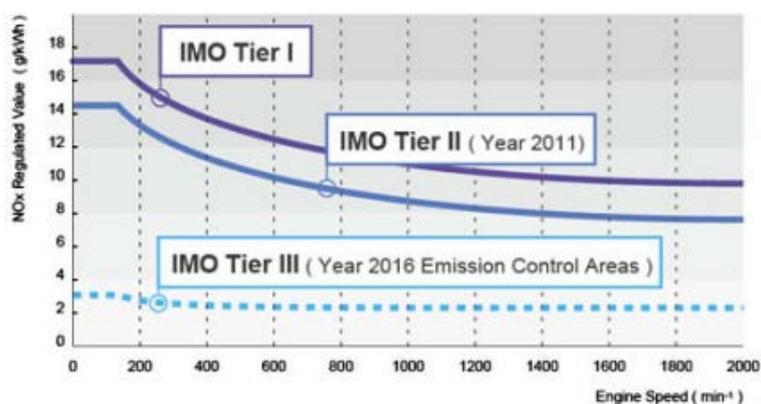


Ilustración 54: Niveles de emisiones permitidos

Fuente: Ingeniero marino

Para calcular los niveles de emisiones, se deben realizar una serie de ensayos y mediciones descritos en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> y que se indican en el apéndice II del Anexo VI. Dichos ciclos de ensayo y factores de ponderación son los siguientes:

- Para motores marinos de velocidad constante y utilizado para la propulsión principal, incluida la transmisión dieseléctrica, o los motores con hélices de paso variable:

Tipo de ciclo de ensayo E2	Velocidad	100%	100%	100%	100%
	Potencia	100%	75%	50%	25%
	Factor de ponderación	0,2	0,5	0,15	0,15

Tabla 10: Ciclo de ensayo E2

Fuente: Elaboración propia según MARPOL

- Para motores principales y auxiliares adaptados a la demanda de la hélice:

Tipo de ciclo de ensayo E3	Velocidad	100%	91%	80%	63%
	Potencia	100%	75%	50%	25%
	Factor de ponderación	0,2	0,5	0,15	0,15

Tabla 11: Ciclo de ensayo E3

Fuente: Elaboración propia según MARPOL

- Para motores auxiliares de velocidad constante:

Tipo de ciclo de ensayo D2	Velocidad	100%	100%	100%	100%	100%
	Potencia	100%	75%	50%	25%	10%
	Factor de ponderación	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1

Tabla 12: Ciclo de ensayo D2

Fuente: Elaboración propia según MARPOL

- Para motores auxiliares de carga y velocidad regulable:

Tipo de ciclo de ensayo C1	Velocidad	de régimen				intermedia			lenta
	Par	100%	75%	50%	10%	100%	75%	50%	0%
	Factor de ponderación	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

Tabla 13: Ciclo de ensayo C1

Fuente: Elaboración propia según MARPOL

No obstante, se puede permitir el funcionamiento de un motor diésel que no cumpla con lo expuesto en la regla 13 si éste consta de algún sistema para reducir los NO<sub>x</sub> dentro de los límites especificados y está aprobado por la Administración de conformidad con el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub>.

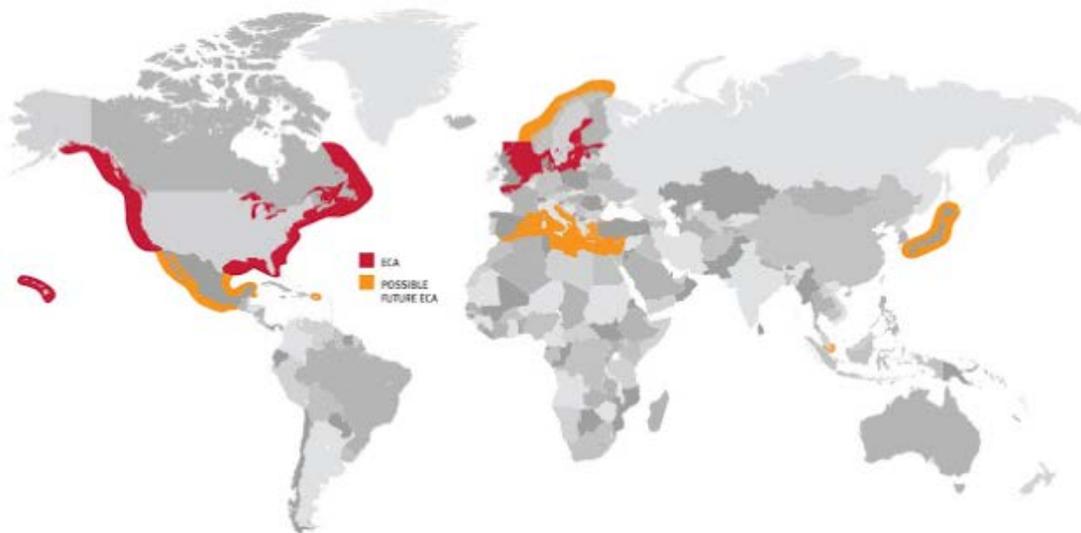


Ilustración 55: Zonas ECA

Fuente: Ingeniero marino

Las zonas ECA (Emission Control Areas) son zonas donde existe un control de los gases emitidos por los buques ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{CO}_2$ ) que se encuentran en dichas zonas. Si los buques que navegan por estas zonas no tienen ningún sistema para reducir las emisiones de estos gases, deben cambiar el tipo de combustible usado tanto en los motores principales como en los auxiliares que utilicen fuel-oil a uno que posea un bajo contenido en azufre. Dicho cambio deben realizarlo antes de entrar a la zona ECA y después de haber salido de ella, además debe registrar cuándo se realizó el cambio y cuanto combustible se utilizó dentro de la zona ECA.

Para el control de las emisiones, los barcos necesitan unos certificados, que son expedidos por el Estado de abanderamiento del buque o por cualquier persona u organización debidamente autorizada por éste.

- Certificado IAPP (Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica). Incluye una sección que indica que el buque utiliza fuel-oil con un contenido en azufre que no excede el valor límite aplicable, según consta en las notas de entrega de combustible, o que utiliza una disposición equivalente.
- Certificado EIAPP (Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores). Controla las emisiones de  $\text{NO}_x$  de los motores diésel según lo establecido en el Anexo VI del MARPOL. certificación de motores nuevos que conduce a la expedición de un Certificado EIAPP se lleva a cabo en las instalaciones del constructor del motor donde se realiza el reconocimiento necesario para la certificación previa. Cada motor del buque debe tener su Certificado EIAPP.

Dichos certificados deben estar siempre en el buque disponibles en todo momento para los funcionarios encargados de la supervisión por el Estado rector del puerto.

## 2. Anexo II. Ciclos de ensayo y factores de ponderación

### *Apéndice II*

#### **Ciclos de ensayo y factores de ponderación (Regla 13)**

Se deberían aplicar los siguientes ciclos de ensayo y factores de ponderación para verificar si los motores diesel marinos cumplen los límites relativos a los NO<sub>x</sub> de conformidad con la regla 13 del presente anexo, utilizándose a tal efecto el procedimiento de ensayo y el método de cálculo que se especifican en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub>.

- .1 Para motores marinos de velocidad constante, utilizados para la propulsión principal del buque, incluida la transmisión diesel-eléctrica, se debería aplicar el ciclo de ensayo E2.
- .2 Para grupos de motores con hélice de paso regulable se debería aplicar el ciclo de ensayo E2.
- .3 Para motores auxiliares y principales adaptados a la demanda de la hélice se debería aplicar el ciclo de ensayo E3.
- .4 Para motores auxiliares de velocidad constante se debería aplicar el ciclo de ensayo D2.
- .5 Para motores auxiliares de carga y velocidad regulables no pertenecientes a las categorías anteriores se debería aplicar el ciclo de ensayo C1.

Ciclo de ensayo para *propulsión principal de velocidad constante*  
(incluidas la transmisión diesel-eléctrica o las instalaciones de hélice de paso regulable)

Tipo de ciclo de ensayo E2	Velocidad	100%	100%	100%	100%
	Potencia	100%	75%	50%	25%
	Factor de ponderación	0,2	0,5	0,15	0,15

Ciclo de ensayo para *motores principales y auxiliares adaptados a la demanda de la hélice*

Tipo de ciclo de ensayo E3	Velocidad	100%	91%	80%	63%
	Potencia	100%	75%	50%	25%
	Factor de ponderación	0,2	0,5	0,15	0,15

*Apéndices del Anexo VI*

---

Ciclo de ensayo para *motores auxiliares de velocidad constante*

Tipo de ciclo de ensayo D2	Velocidad	100%	100%	100%	100%	100%
	Potencia	100%	75%	50%	25%	10%
	Factor de ponderación	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1

Ciclo de ensayo para *motores auxiliares de carga y velocidad regulables*

Tipo de ciclo de ensayo C.1	Velocidad	de régimen				intermedia			lenta
	Par	100%	75%	50%	10%	100%	75%	50%	0%
	Factor de ponderación	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

### 3. Anexo III. Certificado IAPP.

#### CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Expedido en virtud de lo dispuesto en el Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, (en adelante llamado "el Convenio"), con la autoridad conferida por el Gobierno de:

.....  
(nombre oficial completo del país)  
por .....

(título oficial completo de la persona u organización competente autorizada en virtud de lo dispuesto en el Convenio)

Nombre del buque	Número o letras distintivos	Número IMO	Puerto de matrícula	Arqueo bruto

Tipo de buque:  buque tanque  
 otro tipo

#### SE CERTIFICA:

1. que el buque ha sido objeto de reconocimiento, de conformidad con lo dispuesto en la **regla 5 del Anexo VI** del Convenio; y
2. que el reconocimiento ha puesto de manifiesto que el equipo, los sistemas, los accesorios, las instalaciones y los materiales cumplen plenamente las prescripciones aplicables del Anexo VI del Convenio.

El presente certificado es válido hasta el ..... a condición de que se realicen los reconocimientos prescritos en la regla 5 del Anexo VI del Convenio.

Expedido en .....

(lugar de expedición del certificado)

el .....

(fecha de expedición)

(firma del funcionario debidamente autorizado)

(sello o estampilla, según corresponda, de la autoridad)



## SUPLEMENTO DEL CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (CERTIFICADO IAPP)

### CUADERNILLO DE CONSTRUCCIÓN Y EQUIPO

Conforme a lo dispuesto en el Anexo VI del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, (en adelante llamado "el Convenio").

#### *Notas:*

- 1 El presente cuadernillo acompañará permanentemente al Certificado IAPP. El Certificado IAPP estará disponible a bordo del buque en todo momento.
- 2 Cuando el idioma utilizado en el cuadernillo original no sea el español, el francés o el inglés, se incluirá en el texto una traducción a uno de estos idiomas.
- 3 En las casillas se pondrá una cruz (x) si la respuesta es "sí" o "aplicable" y un guión (-) si la respuesta es "no" o "no aplicable", según corresponda.
- 4 A menos que se indique lo contrario, las reglas mencionadas en el presente cuadernillo son las reglas del Anexo VI del Convenio y las resoluciones o circulares son las aprobadas por la Organización Marítima Internacional.

#### **1 Pormenores del buque**

- 1.1 Nombre del buque .....
- 1.2 Número o letras distintivos .....
- 1.3 Número IMO .....
- 1.4 Puerto de matrícula .....
- 1.5 Arqueo bruto .....
- 1.6 Fecha en que se colocó la quilla o en que el buque se hallaba en una fase equivalente de construcción .....
- 1.7 Fecha en que comenzó la transformación importante del motor (si procede) (regla 13): .....

## 2 Control de las emisiones de los buques

### 2.1 Sustancias que agotan la capa de ozono (regla 12)

2.1.1 Los siguientes sistemas y equipos de extinción de incendios que contienen halones pueden continuar en servicio:.....

Sistema/equipo	Ubicación a bordo

2.1.2 Los siguientes sistemas y equipos que contienen CFC pueden continuar en servicio:.....

Sistema/equipo	Ubicación a bordo

2.1.3 Los siguientes sistemas que contienen hidroclorofluorocarbonos (HCFC) instalados antes del 1 de enero del año 2020, pueden continuar en servicio:.....

Sistema/equipo	Ubicación a bordo

### 2.2 Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) (regla 13)

2.2.1 Los siguientes motores diesel con una potencia de salida superior a 130 kW, instalados en un buque construido el 1 de enero del año 2000 o posteriormente, se ajustan a las normas sobre emisiones del apartado 3) a) de la regla 13 de conformidad con lo dispuesto en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> .....

Fabricante y modelo	Número de serie	Utilización	Potencia de salida (kW)	Velocidad de régimen (rpm)

2.2.2 Los siguientes motores diesel, con una potencia de salida superior a 130 kW, que han sido objeto de una transformación importante, según la definición del párrafo 2) de la regla 13, el 1 de enero del año 2000 o posteriormente, se ajustan a las normas sobre emisiones del apartado 3) a) de la regla 13, de conformidad con lo dispuesto en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> .....

Fabricante y modelo	Número de serie	Utilización	Potencia de salida (kW)	Velocidad de régimen (rpm)

2.2.3 Los siguientes motores diesel, con una potencia de salida superior a 130 kW e instalados en un buque construido el 1 de enero del año 2000 o posteriormente, o con una potencia de salida superior a 130 kW y que hayan sido objeto de una transformación importante según la definición del párrafo 2) de la regla 13, el 1 de enero del año 2000 o posteriormente, están dotados de un sistema de limpieza de los gases de escape o de otros métodos equivalentes, de conformidad con el párrafo 3) de la regla 13 y con lo dispuesto en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> .....

Fabricante y modelo	Número de serie	Utilización	Potencia de salida (kW)	Velocidad de régimen (rpm)

2.2.4 Los siguientes motores diesel, indicados en 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3 *supra* están dotados de dispositivos de vigilancia y registro de las emisiones de NO<sub>x</sub>, de conformidad con lo dispuesto en el Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> .....

Fabricante y modelo	Número de serie	Utilización	Potencia de salida (kW)	Velocidad de régimen (rpm)

### 2.3 Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) (regla 14)

2.3.1 Cuando se explota el buque dentro de una zona de control de las emisiones de SO<sub>x</sub> especificada en el párrafo 3) de la regla 14, éste utiliza:

- .1 fueloil con un contenido de azufre que no excede del 1,5% masa/masa, según consta en las notas de entrega de combustible; o .....
- .2 un sistema aprobado de limpieza de los gases de escape para reducir las emisiones de SO<sub>x</sub> a menos de 6,0 g de SO<sub>x</sub>/kW h; o .....
- .3 otra técnica aprobada para reducir las emisiones de SO<sub>x</sub> a menos de 6,0 g de SO<sub>x</sub>/kW h .....

### 2.4 Compuestos orgánicos volátiles (COV) (regla 15)

2.4.1 El buque tanque cuenta con un sistema de recogida del vapor, instalado y aprobado de conformidad con la circular MSC/Circ.585.....

2.5 El buque tiene un incinerador:

- .1 que cumple lo prescrito en la resolución MEPC.76(40) enmendada .....
- .2 instalado antes del 1 de enero del año 2000 que no cumple lo prescrito en la resolución MEPC.76(40) enmendada.....

SE CERTIFICA que el presente cuadernillo es correcto en todos los aspectos

Expedido en .....  
(lugar de expedición del cuadernillo)

.....  
(fecha de expedición)

.....  
(firma del funcionario  
autorizado que expida el cuadernillo)

(sello o estampilla  
de la autoridad)

#### 4. Anexo IV. Certificado EIAPP.

### CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA MOTORES

Expedido en virtud de lo dispuesto en el Protocolo de 1997, enmendado por la resolución MEPC.176(58) en 2008, que enmienda el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (en adelante llamado "el Convenio"), con la autoridad conferida por el Gobierno de:

.....  
(nombre oficial completo del país)

por .....  
(título oficial completo de la persona u organización  
competente autorizada en virtud de lo dispuesto en el Convenio)

Fabricante del motor	Número del modelo	Número de serie	Ciclo(s) de ensayo	Potencia nominal (kW) y régimen nominal (rpm)	Número de homologación del motor

#### SE CERTIFICA:

1 que el motor diésel marino antes mencionado ha sido objeto de reconocimiento para su certificación previa, de conformidad con lo dispuesto en el Código técnico relativo a las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos revisado de 2008, cuyo cumplimiento es obligatorio en virtud del Anexo VI del Convenio; y

2. que el reconocimiento para la certificación previa ha puesto de manifiesto que, con anterioridad a su instalación o puesta en servicio a bordo del buque, el motor, sus elementos, características regulables y expediente técnico cumplen plenamente las prescripciones aplicables de la regla 13 del Anexo VI del Convenio.

El presente certificado es válido durante toda la vida útil del motor, a reserva de que se efectúen los reconocimientos prescritos en la regla 5 del Anexo VI del Convenio, instalado en los buques con la autoridad conferida por este Gobierno.

Expedido en .....  
(lugar de expedición del certificado)

(dd/mm/aaaa) .....  
(fecha de expedición) (firma del funcionario debidamente autorizado que expide el certificado)

(sello o estampilla de la autoridad)

**SUPLEMENTO DEL CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA MOTORES  
(Certificado EIAPP)**

**CUADERNILLO DE CONSTRUCCIÓN, EXPEDIENTE TÉCNICO  
Y MEDIOS DE VERIFICACIÓN**

**Notas:**

- 1 El presente cuadernillo y sus adiciones acompañarán permanentemente al Certificado EIAPP. El Certificado EIAPP acompañará al motor durante toda su vida útil y estará disponible a bordo del buque en todo momento.
- 2 El cuadernillo estará redactado como mínimo en español, francés o inglés. Cuando se use también un idioma oficial del país expedidor, dará fe el texto en dicho idioma en caso de controversia o discrepancia.
- 3 A menos que se indique lo contrario, las reglas mencionadas en el presente cuadernillo son las reglas del Anexo VI del Convenio, y las prescripciones relativas al expediente técnico y los medios de verificación son las prescripciones obligatorias del Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> 2008.

**1 Pormenores del motor**

- 1.1 Nombre y dirección del fabricante .....
- 1.2 Lugar de construcción del motor .....
- 1.3 Fecha de construcción del motor .....
- 1.4 Lugar del reconocimiento de certificación previa .....
- 1.5 Fecha del reconocimiento de certificación previa .....
- 1.6 Tipo de motor y número del modelo.....
- 1.7 Número de serie del motor.....
- 1.8 En caso pertinente indicar: si el motor es un motor de referencia  o un motor perteneciente  a la siguiente familia  o grupo  de motores .....
- 1.9 Pormenores del motor o de la familia/grupo de motores: .....
- 1.9.1 Referencia de aprobación .....
- 1.9.2 Valores/gama de valores de potencia nominal (kW) y régimen nominal (rpm) .....
- 1.9.3 Ciclo(s) de ensayo .....
- 1.9.4 Especificación de fueloil de ensayo del motor o motores de referencia .....
- 1.9.5 Límite aplicable de emisión de NO<sub>x</sub> (g/kWh), regla 13.3, 13.4 o 13.5.1 (táchese según proceda) .....
- 1.9.6 Valores de emisiones del motor o motores de referencia (g/kWh) .....

**2 Pormenores del expediente técnico**

El expediente técnico, prescrito en el capítulo 2 del Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> 2008, es parte esencial del Certificado EIAPP y deberá acompañar siempre al motor durante toda su vida útil y estar siempre disponible a bordo del buque.

- 2.1 Número de identificación/aprobación del expediente técnico .....
- 2.2 Fecha de aprobación del expediente técnico .....

### 3 Especificaciones relativas a los procedimientos de verificación de los NO<sub>x</sub> a bordo

Las especificaciones relativas a los procedimientos de verificación de los NO<sub>x</sub> a bordo prescritos en el capítulo 6 del Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> 2008 son parte esencial del Certificado EIAPP y deberán acompañar siempre al motor durante toda su vida útil y estar siempre disponibles a bordo del buque.

- 3.1 Método de comprobación de los parámetros del motor: .....
- 3.1.1 Número de identificación/aprobación .....
- 3.1.2 Fecha de aprobación .....
- 3.2 Método directo de medición y vigilancia: .....
- 3.2.1 Número de identificación/aprobación .....
- 3.2.2 Fecha de aprobación .....

También se puede utilizar el método de medición simplificado descrito en el párrafo 6.3 del Código Técnico sobre los NO<sub>x</sub> 2008.

Expedido en .....  
*(lugar de expedición del certificado)*

(dd/mm/aaaa) .....  
*(fecha de expedición) (firma del funcionario debidamente autorizado que expide el certificado)*

*(sello o estampilla de la autoridad)*

## 5. Anexo V. Lista de fallos y alarmas.

Designation of errors and alarms	remarks
001 WNG NOX humidity fault	
002 WNG NOX air condition fault	
003 WNG NOX gas flow fault	
004 WNG NOX fault gas probe 1	
005 WNG NOX fault gas line 1	
006 WNG NOX fault gas probe 2	
007 WNG NOX fault gas line 2	
008 WNG NOX fault gas probe 3	
009 WNG NOX Wirebreak	
010 WNG NOX underflow	
011 WNG NOX overflow	
012 WNG NOX fuse fault	
13 WNG NOX isolation fault	
14 WNG NOX measurement not ok	
015 WNG NOX fault gas cooler	
016 WNG NOX high level condensate	
017 WNG NOX fault gas line 7	
018 WNG NOX fault gas probe 8	
019 WNG NOX fault gas line 8	
020 WNG NOX analyzer: NOx too high 21	
22	
23	
24	
025 WNG NOX fault gas line 3	
026 WNG NOX fault gas probe 4	
027 WNG NOX fault gas line 4	
028 WNG NOX fault gas probe 5	
029 WNG NOX fault gas line 5	
030 WNG NOX fault gas probe 6	
031 WNG NOX fault gas line 6	
032 WNG NOX fault gas probe 7	
33 ERR main urea pump pressure too high (analog measurement)	

34	WNG main urea pump pressure low warning (analog measurement)	
	switch 035 ERR main urea pump motor protection tripped	
36	ERR main urea pump pressure too high	
37	ERR main urea pump dry run protection tripped	
38	ERR main urea pump PTC protection tripped	
39	ERR main urea pump valve not open, can't run	
40	ERR man urea pump valve not closed	
041	ERR general urea pump fault	
042	WNG urea pump: refill tank	
043	ERR urea pump: tank empty	
044	WNG urea pump: repqair switch	
045	ERR urea pump pressure wirebreak	
046	ERR urea pump pressure underflow	
047	ERR urea pump pressure overflow	
048	ERR urea pump pressure too low (analog measurement)	
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		

64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
073 glb common hardware failure affects pump, tank and lines	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
089 WNG cabinet isolation fault 230VAC	
090 WNG cabinet isolation fault 24V DC	
091 ERR cabinet fuse fault	
92 WNG cabinet general warning message on relay contact	
93 ERR cabinet general fault message on relay contact	
94	
95	
96	

97	
98	
99	
100	
10001 Profibus Slave 001 not present	
10002 Profibus Slave 002 not present	
10003 Profibus Slave 003 not present	
10004 Profibus Slave 004 not present	
10005 Profibus Slave 005 not present	
10006 Profibus Slave 006 not present (Pump Station)	
10007 Profibus Slave 007 not present	
10008 Profibus Slave 008 not present	
10009 Profibus Slave 009 not present	
10010 Profibus Slave 010 not present	
10011 Profibus Slave 011 not present (Line 1 Dosing Unit)	
10012 Profibus Slave 012 not present (Line 2 Dosing Unit)	
10013 Profibus Slave 013 not present (Line 3 Dosing Unit)	
10014 Profibus Slave 014 not present (Line 4 Dosing Unit)	
10015 Profibus Slave 015 not present (Line 5 Dosing Unit)	
10016 Profibus Slave 016 not present (Line 6 Dosing Unit)	
10017 Profibus Slave 017 not present (Line 7 Dosing Unit)	
10018 Profibus Slave 018 not present (Line 8 Dosing Unit)	
10019 Profibus Slave 019 not present	
10020 Profibus Slave 020 not present	
10021 Profibus Slave 021 not present (Line 1 Frequency Inverter)	

10022 Profibus Slave 022 not present (Line 2 Frequency Inverter)	
10023 Profibus Slave 023 not present (Line 3 Frequency Inverter)	
10024 Profibus Slave 024 not present (Line 4 Frequency Inverter)	
10025 Profibus Slave 025 not present (Line 5 Frequency Inverter)	
10026 Profibus Slave 026 not present (Line 6 Frequency Inverter)	
10027 Profibus Slave 027 not present (Line 7 Frequency Inverter)	
10028 Profibus Slave 028 not present (Line 8 Frequency Inverter)	
10029 Profibus Slave 029 not present	
10030 Profibus Slave 030 not present	
10031 Profibus Slave 031 not present (Line 1 SCR Reactor)	
10032 Profibus Slave 032 not present (Line 2 SCR Reactor)	
10033 Profibus Slave 033 not present (Line 3 SCR Reactor)	
10034 Profibus Slave 034 not present (Line 4 SCR Reactor)	
10035 Profibus Slave 035 not present (Line 5 SCR Reactor)	
10036 Profibus Slave 036 not present (Line 6 SCR Reactor)	
10037 Profibus Slave 037 not present (Line 7 SCR Reactor)	
10038 Profibus Slave 038 not present (Line 8 SCR Reactor)	
10039 Profibus Slave 039 not present	
10040 Profibus Slave 040 not present	
10041 Profibus Slave 041 not present	
10042 Profibus Slave 042 not present	

10043 Profibus Slave 043 not present	
10044 Profibus Slave 044 not present	
10045 Profibus Slave 045 not present	
10046 Profibus Slave 046 not present	
10047 Profibus Slave 047 not present	
10048 Profibus Slave 048 not present	
101	
102	
103	
104	
105	
106	
107	
108	
109	
110	
11001 Profibus Slave 001 signals module failure	
11002 Profibus Slave 002 signals module failure	
11003 Profibus Slave 003 signals module failure	
11004 Profibus Slave 004 signals module failure	
11005 Profibus Slave 005 signals module failure	
11006 Profibus Slave 006 signals module failure (Pump Station)	
11007 Profibus Slave 007 signals module failure	
11008 Profibus Slave 008 signals module failure	
11009 Profibus Slave 009 signals module failure	
11010 Profibus Slave 010 signals module failure	
11011 Profibus Slave 011 signals module failure (Line 1 Dosing Unit)	
11012 Profibus Slave 012 signals module failure (Line 2 Dosing Unit)	
11013 Profibus Slave 013 signals module failure (Line 3 Dosing Unit)	
11014 Profibus Slave 014 signals module failure (Line 4 Dosing Unit)	

11015 Profibus Slave 015 signals module failure (Line 5 Dosing Unit)	
11016 Profibus Slave 016 signals module failure (Line 6 Dosing Unit)	
11017 Profibus Slave 017 signals module failure (Line 7 Dosing Unit)	
11018 Profibus Slave 018 signals module failure (Line 8 Dosing Unit)	
11019 Profibus Slave 019 signals module failure	
11020 Profibus Slave 020 signals module failure	
11021 Profibus Slave 021 signals module failure (Line 1 Frequency Inverter)	
11022 Profibus Slave 022 signals module failure (Line 2 Frequency Inverter)	
11023 Profibus Slave 023 signals module failure (Line 3 Frequency Inverter)	
11024 Profibus Slave 024 signals module failure (Line 4 Frequency Inverter)	
11025 Profibus Slave 025 signals module failure (Line 5 Frequency Inverter)	
11026 Profibus Slave 026 signals module failure (Line 6 Frequency Inverter)	
11027 Profibus Slave 027 signals module failure (Line 7 Frequency Inverter)	
11028 Profibus Slave 028 signals module failure (Line 8 Frequency Inverter)	
11029 Profibus Slave 029 signals module failure	
11030 Profibus Slave 030 signals module failure	
11031 Profibus Slave 031 signals module failure (Line 1 SCR Reactor)	
11032 Profibus Slave 032 signals module failure (Line 2 SCR Reactor)	
11033 Profibus Slave 033 signals module failure (Line 3 SCR Reactor)	
11034 Profibus Slave 034 signals module failure (Line 4 SCR Reactor)	

11035 Profibus Slave 035 signals module failure (Line 5 SCR Reactor)	
11036 Profibus Slave 036 signals module failure (Line 6 SCR Reactor)	
11037 Profibus Slave 037 signals module failure (Line 7 SCR Reactor)	
11038 Profibus Slave 038 signals module failure (Line 8 SCR Reactor)	
11039 Profibus Slave 039 signals module failure	
11040 Profibus Slave 040 signals module failure	
11041 Profibus Slave 041 signals module failure	
11042 Profibus Slave 042 signals module failure	
11043 Profibus Slave 043 signals module failure	
11044 Profibus Slave 044 signals module failure	
11045 Profibus Slave 045 signals module failure	
11046 Profibus Slave 046 signals module failure	
11047 Profibus Slave 047 signals module failure	
11048 Profibus Slave 048 signals module failure	
111	
112	
113	
114	
115	
116	
117	
118	
160	
161 Line 1 air flow too low	
162 Line 1 urea pressure too low	
163 Line 1 urea pressure too high	
164 Line 1 cooling air pressure too low	
169 Line 1 urea pressure wirebreak	
170 Line 1 urea pressure underflow	
171 Line 1 urea pressure overflow	
172 Line 1 urea flow wirebreak	
173 Line 1 urea flow underflow	

174	Line 1 urea flow overflow	
175	Line 1 urea flowmeter signals fault	
176	Line 1 atomizing air pressure too low	
177		
193	Line delta-p overflow 194	
201	Line 1 temp before cat wirebreak	
202	Line 1 temp before cat underflow	
203	Line 1 temp before cat overflow	
204	Line 1 temp after cat wirebreak	
205	Line 1 temp after cat underflow	
206	Line 1 temp after cat overflow	
207	Line 1 delta-p wirebreak	
208	Line 1 delta-p underflow	
209		
233	Line 1 motor load wirebreak	
234	Line 1 motor load underflow	
235	Line 1 motot load overflow	
236		
249	Line 1 soot blower vessel pressure p<min, pressure too low	
250	Line 1 soot blower drain valve open	
251		
265	Line 1 hardware failure, must shutdown	
266	Line 1 flow control deviation	
267	Line 1 delta p reactor too high	
268		
304		
305	Line 2 air flow too low	
306	Line 2 urea pressure too low	
307	Line 2 urea pressure too high	
308	Line 2 cooling air pressure too low	
309		
310		
313	Line 2 urea pressure wirebreak	
314	Line 2 urea pressure underflow	

315	Line 2 urea pressure overflow	
316	Line 2 urea flow wirebreak	
317	Line 2 urea flow underflow	
318	Line 2 urea flow overflow	
319	Line 2 urea flowmeter signals fault	
320	Line 2 atomizing air pressure too low	
321		
337	Line 2 delta-p overflow	
338		
345	Line 2 temp before cat wirebreak	
346	Line 2 temp before cat underflow	
347	Line 2 temp before cat overflow	
348	Line 2 temp after cat wirebreak	
349	Line 2 temp after cat underflow	
350	Line 2 temp after cat overflow	
351	Line 2 delta-p wirebreak	
352	Line 2 delta-p underflow	
353		
377	Line 2 motor load wirebreak	
378	Line 2 motor load underflow	
379	Line 2 motor load overflow	
380		
393	Line 2 soot blower vessel pressure p<min, pressure too low	
394	Line 2 soot blower drain valve open	
395		
409	Line 2 hardware failure, must shutdown	
410	Line 2 flow control deviation	
411	Line 2 delta-p reactor too high	
412		
448		
449	Line 3 air flow too low	
450	Line 3 urea pressure too low	
451	Line 3 urea pressure too high	
452	Line 3 cooling air pressure too low	

457 Line 3 urea pressure wirebreak	
458 Line 3 urea pressure underflow	
459 Line 3 urea pressure overflow	
460 Line 3 urea flow wirebreak	
461 Line 3 urea flow underflow	
462 Line 3 urea flow overflow	
463 Line 3 urea flowmeter signals fault	
464 Line 3 atomizing air pressure too low	
465	
481 Line 3 delta-p overflow	
482	
489 Line 3 temp before cat wirebreak 490 Line 3 temp before cat underflow 491 Line 3 temp before cat overflow 492 Line 3 temp after cat wirebreak 493 Line 3 temp after cat underflow 494 Line 3 temp after cat overflow 495 Line 3 delta-p wirebreak	
496 Line 3 delta-p underflow	
497	
521 Line 3 motor load wirebreak	
522 Line 3 motor load underflow	
523 Line 3 motor load overflow	
524	
537 Line 3 soot blower vessel pressure p<min, pressure too low	
538 Line 3 soot blower drain valve open	
539	
553 Line 3 hardware failure, must shutdown	
554 Line 3 flow control deviation	
555 Line 3 delta-p reactor too high	
556	
592	
593 Line 4 air flow too low	
594 Line 4 urea pressure too low	
595 Line 4 urea pressure too high	
596 Line 4 cooling air pressure too low	

601	Line 4 urea pressure wirebreak	
602	Line 4 urea pressure underflow	
603	Line 4 urea pressure overflow	
604	Line 4 urea flow wirebreak	
605	Line 4 urea flow underflow	
606	Line 4 urea flow overflow	
607	Line 4 urea flowmeter signals fault	
608	Line 4 atomizing air pressure too low	
609		
625	Line 4 delta-p overflow	
626		
633	Line 4 temp before cat wirebreak	
634	Line 4 temp before cat underflow	
635	Line 4 temp before cat overflow	
636	Line 4 temp after cat wirebreak	
637	Line 4 temp after cat underflow	
638	Line 4 temp after cat overflow	
639	Line 4 delta-p wirebreak	
640	Line 4 delta-p underflow	
641		
665	Line 4 motor load wirebreak	
666	Line 4 motor load underflow	
667	Line 4 motor load overflow	
668		
681	Line 4 soot blower vessel pressure p<min, pressure too low	
682	Line 4 soot blower drain valve open	
683		
697	Line 4 hardware failure, must shutdown	
698	Line 4 flow control deviation	
699	Line 4 delta-p reactor too high	
700		
735		
736	Line 5 air flow too low	
737	Line 5 urea pressure too low	

738 Line 5 urea pressure too high	
739 Line 5 cooling air pressure too low	
744 Line 5 urea pressure wirebreak	
745 Line 5 urea pressure underflow	
746 Line 5 urea pressure overflow	
747 Line 5 urea flow wirebreak	
748 Line 5 urea flow underflow	
749 Line 5 urea flow overflow	
750 Line 5 urea flowmeter signals fault	
751 Line 5 atomizing air pressure too low	
752	
768 Line 5 delta-p overflow	
769	
776 Line 5 temp before cat wirebreak	
777 Line 5 temp before cat underflow	
778 Line 5 temp before cat overflow	
779 Line 5 temp after cat wirebreak	
780 Line 5 temp after cat underflow	
781 Line 5 temp after cat overflow	
782 Line 5 delta-p wirebreak	
783 Line 5 delta-p underflow	
784	
808 Line 5 motor load wirebreak	
809 Line 5 motor load underflow	
810 Line 5 motor load overflow	
811	
824 Line 5 soot blower vessel pressure p<min, pressure too low	
825 Line 5 soot blower drain valve open	
826	
840 Line 5 hardware failure, must shutdown	
841 Line 5 flow control deviation	
842 Line 5 delta-p reactor too high	
843	
879	

880 Line 6 air flow too low	
881 Line 6 urea pressure too low	
882 Line 6 urea pressure too high	
883 Line 6 cooling air pressure too low	
888 Line 6 urea pressure wirebreak	
889 Line 6 urea pressure underflow	
890 Line 6 urea pressure overflow	
891 Line 6 urea flow wirebreak	
892 Line 6 urea flow underflow	
893 Line 6 urea flow overflow	
894 Line 6 urea flowmeter signals fault	
895 Line 6 atomizing air pressure too low	
896	
912 Line 6 delta-p overflow	
913	
920 Line 6 temp before cat wirebreak	
921 Line 6 temp before cat underflow	
922 Line 6 temp before cat overflow	
923 Line 6 temp after cat wirebreak	
924 Line 6 temp after cat underflow	
925 Line 6 temp after cat overflow	
926 Line 6 delta-p wirebreak	
927 Line 6 delta-p underflow	
928	
952 Line 6 motor load wirebreak	
953 Line 6 motor load underflow	
954 Line 6 motor load overflow	
955	
968 Line 6 soot blower vessel pressure <min, pressure too low	
969 Line 6 soot blower drain valve open	
970	
984 Line 6 hardware failure, must shutdown	
985 Line 6 flow control deviation	
986 Line 6 delta-p reactor too high	