

Control de emisiones NO_x en buques de guerra

Autores: D. Julio M. Pernas Urrutia, D. Raúl Villa Caro, Armada.

Palabras clave: MARPOL, emisiones, contaminación.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 6.2.1; 7.2.1.

Introducción

El Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques de 1973 (MARPOL) se ocupa de preservar el medio ambiente marino mediante la prevención de la contaminación.

En lo relativo a la aplicación del Anexo VI MARPOL sobre el control de emisiones de contaminantes a la atmósfera, para las emisiones NO_x se establece un alcance de aplicación a motores diésel marinos con potencia mayor de 130 kw (excepto motores de emergencia), en base a niveles de emisiones Tier I, II y III.

Para reducir el nivel de emisiones de NO_x a Tier III, preceptivo en zonas ECA (Emission Control Areas), además de los procesos de optimización de combustión correspondientes al nivel Tier II (global), se precisa del auxilio de otras tecnologías.

En el presente artículo se realiza una descripción somera de la tecnología SCR (Selective Catalytic Reduction), con el fin de dar cumplimiento al



Fig. 1. F101 «Álvaro de Bazán» en Sidney. (Fuente: Flirck Armada).

Anexo VI MARPOL en lo referente al control de emisiones NO_x a la atmósfera, y así permitir la navegación de buques de guerra por zonas ECA (Tier III).

Convenio MARPOL

Dentro de la normativa de la IMO (International Maritime Organization), el convenio MARPOL se ocupa de preservar el medio ambiente marino mediante la prevención de la contaminación por petróleo y otras sustancias nocivas.

En el caso concreto del Anexo VI MARPOL, relativo al control de

emisiones a la atmósfera, se incluyen una serie de reglas relacionadas con distintos tipos de contaminantes emitidos por buques y, en particular, con los NO_x [1].

Respecto de los buques de guerra, su cumplimiento es voluntario. Ahora bien, debido al compromiso actual de las Armadas y Marinas con el desarrollo de sus operaciones de forma respetuosa con el medio ambiente, lo habitual es que cumplan con el Convenio MARPOL.

Niveles de emisiones NO_x

La necesidad del control de emisiones NO_x en buques de guerra afecta únicamente a la propulsión o generación eléctrica a partir de motores diésel, quedando fuera las turbinas de gas debido al elevado grado de dilución o coeficiente de exceso de aire durante su funcionamiento.

El control de emisiones de NO_x de motores diésel marinos se lleva a cabo mediante el cumplimiento de las prescripciones de reconocimiento y certificación que conducen a la expedición del certificado EIAPP (Engine International Air Pollution Prevention).

Posteriormente se debe de demostrar su cumplimiento durante el servicio, de acuerdo con las

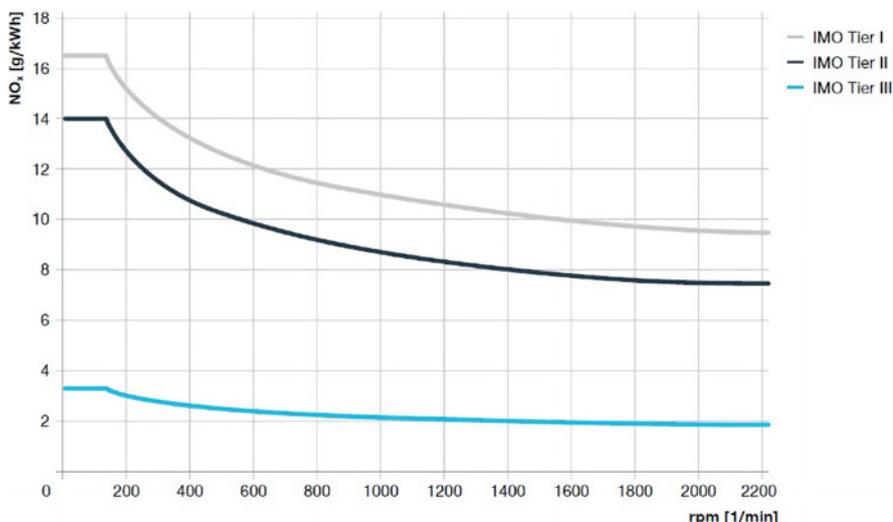


Fig. 2. Curvas NO_x límite en función de niveles Tier. (Fuente: MAN).

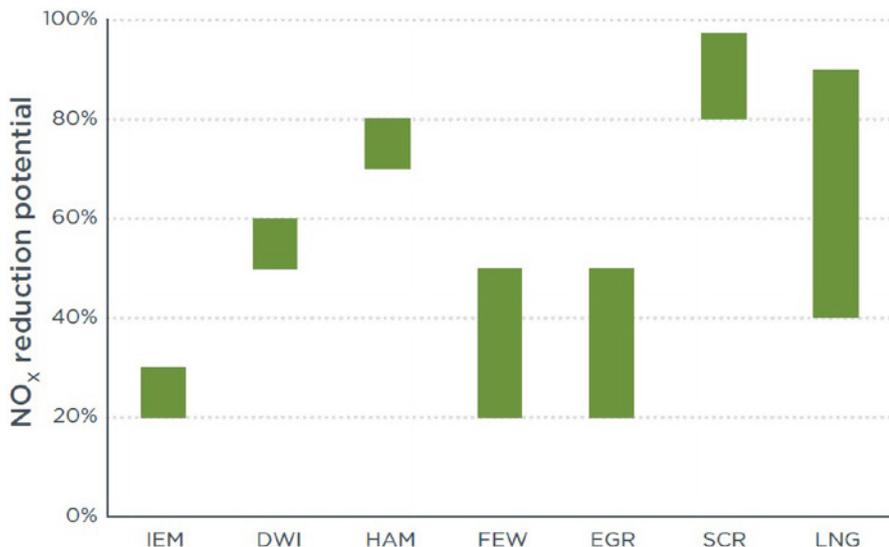


Fig. 4. Motor de dos tiempos con SCR. (Fuente: MAN).

Particularidades de las emisiones NO_x

Los precursores de formación de NO_x durante el proceso de combustión son el nitrógeno (N₂) y el oxígeno (O₂), los cuales comprenden el 99 % del aire de admisión del motor. El O₂ se consume durante el proceso de combustión, siendo la cantidad de exceso de O₂ función de la relación aire/combustible bajo la cual el motor está funcionando.

El nitrógeno permanece en gran parte sin reaccionar durante el proceso de combustión, a excepción de un pequeño porcentaje que se oxidará para formar varios óxidos de nitrógeno, siendo estos el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂).

prescripciones obligatorias respecto de las Reglas 13.8 y 5.3.2 del Anexo VI MARPOL y del NTC (NO_x Technical Code) de 2008 (Resolución MEPC.177(58), enmendada por la Resolución MEPC.251.(66) en el caso de los niveles de misiones Tier II y III [2] [3].

En cuanto a la posibilidad de certificar un motor diésel marino según el nivel Tier I, esta ha estado vigente hasta el 1 de enero de 2011. A partir de esa fecha, todos los motores diésel marinos se certifican según Tier II y III en función de si las zonas de navegación son zonas ECA o no.

En la siguiente figura se resume los límites globales (Tier I y II) y para zonas ECA (Tier III) de emisiones NO_x.

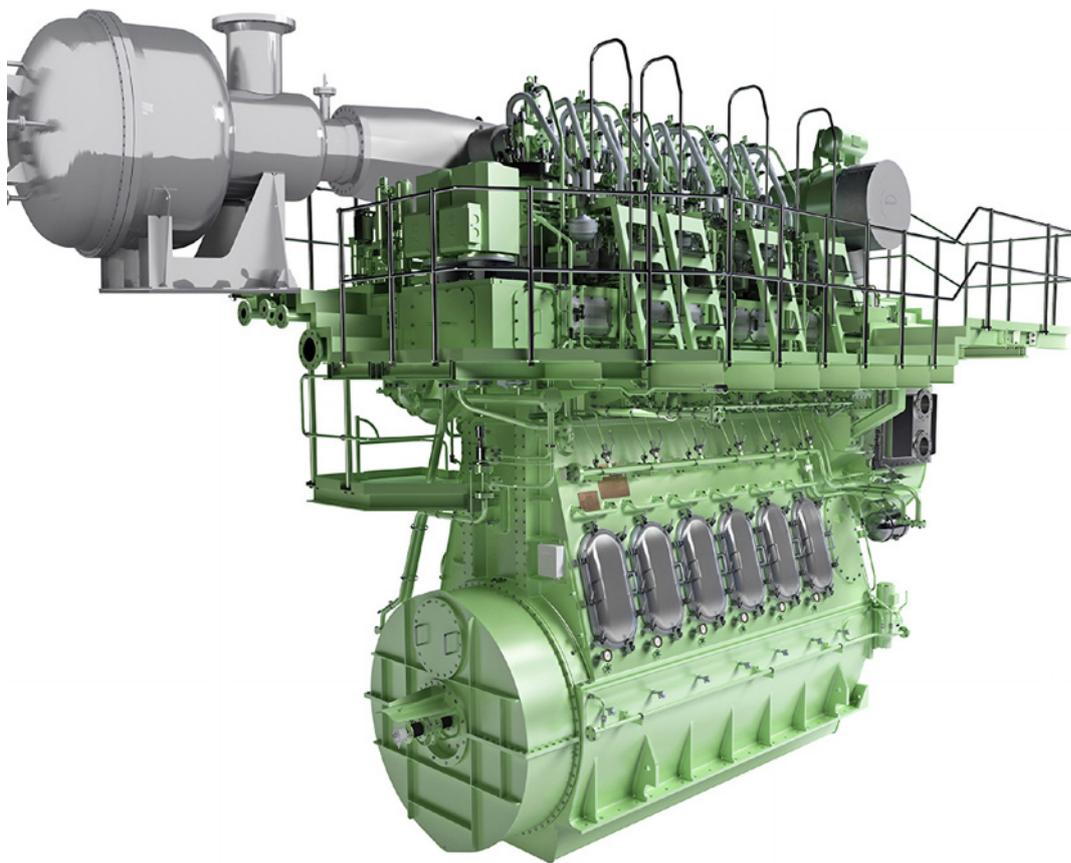


Fig. 3. Reducción de emisiones NO_x. (Fuente: Azzara, et al., 2014).

Basic Reactions	$4 \text{ NO} + 4 \text{ NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{ N}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$
	$6 \text{ NO}_2 + 8 \text{ NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O}$
Undesired Parallel Reactions	$\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{ O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$
	$\text{NH}_3 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{HSO}_4$

Tabla 1 Reacciones básicas y reacciones paralelas no deseadas

La formación de NO_x es función del tiempo en el que el N_2 y el exceso de O_2 están expuestos a las altas temperaturas asociadas a la combustión del motor diésel, de modo que, cuanto mayor sea la temperatura de combustión (por ejemplo, alta presión máxima, alta relación de compresión, alta tasa de suministro de combustible, etc.), mayor será la cantidad de formación de NO_x .

El rendimiento de un motor diésel depende de las presiones y temperaturas alcanzadas durante el ciclo de combustión, de modo que conforme aumentan estas se incrementa el rendimiento del ciclo.

Por lo tanto, lo que resulta ventajoso desde el punto de vista del rendimiento térmico del motor se convierte a su vez en un problema desde el punto de vista medioambiental.

Si bien los niveles de emisiones *Tier I* y *II* son alcanzables mediante procesos de optimización de la combustión, para alcanzar el nivel *Tier III* (preciso en navegación por zonas ECA), se necesita de la aplicación de otros tipos de tecnologías de control de emisiones.

Tecnología SCR para la reducción de emisiones NO_x

Por lo general, los motores diésel dedicados tanto a propulsión como generación eléctrica en buques de guerra trabajan con niveles de emisiones *Tier II* (global). En este sentido, resulta difícil encontrar buques de guerra *Tier III*, a excepción de los que utilizan turbinas de gas marinas (en este caso quedan fuera del alcance del Anexo VI MARPOL).

Con el fin de actualizar el nivel de emisiones de los buques de guerra desde *Tier II* a *Tier III* (obligatorio en zonas ECA), se debe hacer uso de determinadas tecnologías. En este sentido, la tecnología más utilizada en la actualidad es la tecnología SCR (*Selective Catalytic Reduction*) siendo, además, la única capaz de lograr el cumplimiento de emisiones *Tier III*, independientemente del motor en el que se aplique [4].

La tecnología SCR funciona mediante la combinación de

amoníaco (NH_3), normalmente a partir de una solución acuosa de urea, con un catalizador montado sobre un monolito cerámico, para reducir el NO_x formando nitrógeno (N_2) y agua (H_2O) [5]:

Como la temperatura de los gases de exhaustación en motores diésel varía de 300 a 400 °C, resulta un rango de temperaturas suficiente para obtener la energía necesaria que permita la reacción SCR.

En cuanto a la normativa IMO en vigor relacionada con el uso de sistemas SCR a bordo, estos deben mostrar su conformidad con la Resolución MEPC.291(71) de 7 de julio de 2017, enmendada a su vez por la Resolución MEPC.313(74) de 17 de mayo de 2019 [6] [7].

Conclusiones

Dentro de la normativa IMO, el Convenio MARPOL se ocupa de preservar el medio ambiente marino mediante la prevención de la contaminación. En el caso particular de los buques de guerra, el cumplimiento del convenio MARPOL es voluntario.

El control de emisiones NO_x en buques de guerra afecta únicamente a la propulsión o generación eléctrica a partir de motores diésel marinos.

En cuanto al control de emisiones NO_x en motores diésel marinos, las enmiendas al Anexo VI incluyen una estructura en niveles de emisiones *Tier* (desde I a III, de menor a mayor reducción).

Los motores diésel en buques de guerra trabajan, por lo general, con niveles de emisiones *Tier II* (global), por lo que precisarán de otras tecnologías para alcanzar niveles de emisiones *Tier III* (preceptivo en navegación por zonas ECA).

La tecnología más utilizada para el control de emisiones NO_x es la tecnología SCR, con un nivel de reducción de más del 90 %, siendo la única capaz de lograr el cumplimiento de emisiones *Tier III*, independientemente del motor en el que se aplique. La tecnología SCR se muestra totalmente adaptable a las particularidades del buque de guerra, tanto desde el punto de vista de la propulsión como de la generación eléctrica.

Referencias

- [1] International Maritime Organization (IMO) (2021). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78), Consolidated Edition 2021*, London, ISBN: 9789280131413.
- [2] Marine Environment Protection Committee (MEPC). *Amendments to the Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines – NOx Technical Code, Res. MEPC.177(58)*, International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [3] Marine Environment Protection Committee (MEPC). *Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto, Res. MEPC.251(66)*, International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [4] Azzara, A., Rutherford, D., Wang, H. (2014). *Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction, Working Paper 2014-4*, International Council on Clean Transportation (ICCT).
- [5] Association for Catalytic Control of Ship Emissions to Air (IACCSEA) (2019). *A catalyst for Clean Shipping*, London, United Kingdom, <https://www.iaccsea.com/marine-scr/>
- [6] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2017). *Guidelines Addressing Additional Aspects of the NOx Technical Code 2008 with regard to Particular Requirements related to Marine Diesel Engines Fitted with Selective Catalytic Reduction (SCR) Systems, Res. MEPC.291(71)*, International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.
- [7] Marine Environment Protection Committee (MEPC) (2019a). *Amendments to the Guidelines Addressing Additional Aspects of the NOx Technical Code 2008 with regard to Particular Requirements related to Marine Diesel Engines Fitted with Selective Catalytic Reduction (SCR) Systems, Res. MEPC.291(71)*, International Maritime Organization (IMO), London, United Kingdom.