

Resolución 2
***Código técnico relativo al control
de las emisiones de óxidos de nitrógeno
de los motores diesel marinos***

LA CONFERENCIA,

RECORDANDO [la resolución A.719\(17\)](#), aprobada por la Asamblea de la Organización Marítima Internacional, en la que se indica que la mejor manera de lograr el objetivo de prevenir la contaminación del aire tal vez sea la elaboración de un nuevo anexo del MARPOL 73/78 que recoja reglas para limitar y contener la emisión de sustancias perjudiciales procedentes de los buques,

RECONOCIENDO que las emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes de los motores diesel marinos instalados a bordo de los buques tienen un efecto perjudicial en el medio ambiente, por ser causa de acidificación, formación de ozono y enriquecimiento con nutrientes, y tienen efectos negativos sobre la salud a escala mundial,

CONSCIENTE de los protocolos y declaraciones del Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia de 1979, acerca de, entre otras cosas, la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno o de sus flujos transfronterizos,

HABIENDO ADOPTADO el Protocolo de 1997 para enmendar el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78),

TOMANDO NOTA de [la regla 13 del Anexo VI](#) del MARPOL 73/78 que hace que, conforme a lo estipulado en dicha regla, el Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos tenga carácter obligatorio,

HABIENDO EXAMINADO las recomendaciones formuladas por el Comité de Protección del Medio Marino en su 39° periodo de sesiones,

1. ADOPTA el Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos (Código Técnico sobre los NO_x), cuyo texto constituye el anexo de la presente resolución;

2. DECIDE que las disposiciones del Código Técnico sobre los NO_x entrarán en vigor, con carácter obligatorio para todas las Partes en el MARPOL 73/78, en la misma fecha en que entre en vigor dicho Protocolo;
3. INVITA a las Partes en el MARPOL 73/78 a que apliquen las disposiciones del Código Técnico sobre los NO_x de conformidad con las disposiciones de [la regla 13 del Anexo VI](#); y
4. INSTA a las Partes en el MARPOL 73/78 a que señalen el Código Técnico sobre los NO_x de inmediato a la atención de los propietarios de buques, operadores, armadores, fabricantes de motores diesel marinos, y otros estamentos interesados.

Anexo

Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos

Prólogo

El 26 de septiembre de 1997, la Conferencia de las Partes en el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78), aprobó, mediante la resolución 2 de la Conferencia, el Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos. En virtud de lo dispuesto en el Anexo VI del MARPOL 73/78, titulado “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”, y a partir de la entrada en vigor de dicho anexo, todos los motores diesel marinos a los que se aplique la regla 13 de ese anexo han de ajustarse a lo dispuesto en el presente Código.

Como información de carácter general cabe señalar que los precursores de la formación de óxidos de nitrógeno durante el proceso de combustión son el nitrógeno y el oxígeno. Estos compuestos representan juntos el 99% del aire que entra en el motor. El oxígeno se consume

durante la combustión y la cantidad de oxígeno sobrante depende de la proporción de aire y combustible con la que esté funcionando el motor. Durante la combustión, el nitrógeno no experimenta en general ninguna reacción, aunque una pequeña proporción del mismo se oxida formando distintos óxidos de nitrógeno (NO_x). Entre éstos, pueden formarse NO y NO₂, y su cuantía depende de la temperatura de la llama o de la combustión y de la cantidad de nitrógeno orgánico, si lo hay, procedente del combustible. La cantidad en que aparezcan también es función del tiempo durante el cual el nitrógeno y el oxígeno sobrante estén expuestos a las altas temperaturas que produce la combustión en el motor diesel. En otras palabras, cuanto más elevada sea la temperatura de combustión (por ejemplo, presión máxima elevada, alto índice de compresión, ritmo elevado de suministro de combustible, etc.), mayor será la cantidad de NO_x que se formen. En general, un motor diesel de baja velocidad produce más NO_x que uno de alta velocidad. Los NO_x tienen un efecto negativo sobre el medio ambiente y dan lugar a procesos de acidificación, formación de ozono y enriquecimiento con nutrientes, y tienen también efectos negativos para la salud en todo el mundo.

El presente Código tiene por objeto establecer procedimientos obligatorios de prueba, reconocimiento y certificación de los motores diesel marinos que permitan a los fabricantes de motores, propietarios de buques y administraciones tener la seguridad de que todos los motores diesel marinos a los que se apliquen se ajustan a los límites de emisión de NO_x que se especifican en [la regla 13 del Anexo VI del MARPOL 73/78](#). Se ha reconocido la dificultad de establecer con precisión el verdadero promedio ponderado de NO_x que emiten los motores diesel marinos en servicio en los buques y, por ello, se ha formulado un conjunto de prescripciones sencillas y prácticas en las que se definen los medios para que puedan respetarse los límites establecidos en cuanto a las emisiones de NO_x.

Se recomienda a las Administraciones que comprueben las emisiones que producen los motores diesel de propulsión y auxiliares en un banco de pruebas en el que puedan realizarse ensayos viables en condiciones debidamente controladas. La determinación en esta fase inicial del cumplimiento de las prescripciones de la regla 13 del Anexo VI es una de las características esenciales del presente Código. Toda prueba ulterior que se realice a bordo del buque será inevitablemente limitada en amplitud y fiabilidad y el objetivo de la misma deberá ser inferir o deducir el comportamiento del motor desde el punto de vista de las emisiones y confirmar que éste se ha instalado, utiliza y mantiene de acuerdo con las especificaciones del fabricante y que los eventuales ajustes o modificaciones no afectan a las características de emisión del motor establecidas por las pruebas iniciales y el certificado expedido por el fabricante.

Abreviaturas, subíndices, fórmulas y símbolos

En las tablas 1, 2, 3 y 4 que figuran a continuación se resumen las abreviaturas, los subíndices y las fórmulas utilizados en el Código, incluidas las especificaciones para los instrumentos de análisis que figuran en el [apéndice 3](#), las prescripciones sobre calibrado de los instrumentos analíticos contenidas en el [apéndice 4](#) y las fórmulas para calcular el flujo másico de los gases de escape que figuran en el [capítulo 5](#) y el [apéndice 6](#) del presente Código.

- .1 Tabla 1: fórmulas utilizadas en el Código para representar los componentes químicos de las emisiones de gas de los motores diesel;
- .2 [Tabla 2](#): abreviaturas de los analizadores utilizados para medir las emisiones de gas de los motores diesel, según lo especificado en el [apéndice 3 del presente Código](#);
- .3 [Tabla 3](#): símbolos y subíndices de los términos y variables utilizados en todas las fórmulas para el cálculo del flujo másico de los gases de escape por los métodos de medición en el banco de pruebas, según lo especificado en el [capítulo 5](#) del presente Código; y
- .4 [Tabla 4](#): subíndices y descripciones de los términos y variables utilizados en todas las fórmulas para el cálculo del flujo másico de los gases de escape por el método de equilibrado del carbono, según lo especificado en el [apéndice 6](#) del presente Código.

Tabla 1 – Fórmulas de los componentes químicos de las emisiones de los motores diesel

Fórmula	Componente químico	Fórmula	Componente químico
C ₃ H ₈	Propano	NO	Óxido nítrico
CO	Monóxido de carbono	NO ₂	Dióxido de nitrógeno
CO ₂	Dióxido de carbono	NO _x	Óxidos de nitrógeno
HC	Hidrocarburos	O ₂	Oxígeno
H ₂ O	Agua		

Tabla 2 – Abreviaturas de los analizadores para medir las emisiones gaseosas de los motores diesel (véase el apéndice 3 del presente Código)

Abreviatura	Término	Abreviatura	Término
VFC	Venturi de flujo crítico	DILC	Detector de ionización de llama calentado
DQL	Detector quimioluminiscente	AIND	Analizador de infrarrojos no dispersivos
SEQ	Sensor electroquímico	BV	Bomba volumétrica
DIL	Detector de ionización de llama	DPM	Detector paramagnético
AITF	Analizador de infrarrojos por transformada de Fourier	DRU	Detector de rayos ultravioletas
DQLC	Detector quimioluminiscente caldeado	SDOC	Sensor de dióxido de circonio

Tabla 3 – Símbolos y subíndices de los términos y variables utilizados en las fórmulas para los métodos de medición en el banco de pruebas (véase el capítulo 5 del presente Código)

Símbolo	Término	Unidad
A_T	Área de la sección transversal del tubo de escape	m ²
C1	Hidrocarburo equivalente del carbono 1	–
conc	Concentración	ppm o Vol%
conc _c	Concentración corregida teniendo en cuenta la concentración de fondo	ppm o Vol%
EAF	Factor de aire sobrante (kg de aire seco por kg de combustible)	kg/kg
EAF _{Ref}	Factor de aire sobrante (kg de aire seco por kg de combustible) en las condiciones de referencia	kg/kg
f_a	Factor atmosférico de laboratorio (sólo aplicable a una familia de motores)	–

Símbolo	Término	Unidad
F_{FCB}	Factor específico del combustible para el cálculo del equilibrado del carbono	–
F_{FD}	Factor específico del combustible para el cálculo del flujo de gases de escape en seco	–
F_{FH}	Factor específico del combustible utilizado para el cálculo de concentraciones en húmedo a partir de concentraciones en seco	–
F_{FW}	Factor específico del combustible para el cálculo del flujo de gases de escape en húmedo	–
G_{AIRW}	Caudal másico de aire de admisión en húmedo	kg/h
G_{AIRD}	Caudal másico de aire de admisión en seco	kg/h
G_{EXHW}	Caudal másico de gases de escape en húmedo	kg/h
G_{FUEL}	Caudal másico de combustible	kg/h
GAS_x	Valor medio ponderado de las emisiones de NO_x	g/kW h
H_{REF}	Valor de referencia de la humedad absoluta (10,71 g/kg; para el cálculo de los factores de corrección de humedad de los NO_x y de las partículas)	g/kg
H_a	Humedad absoluta del aire de admisión	g/kg
H_{TCRAT}	Relación hidrógeno:carbono	mol/mol
i	Subíndice que indica un modo particular	–
K_{HDIES}	Factor de corrección de humedad de los NO_x de los motores diesel	–
$K_{W,a}$	Factor de corrección de seco a húmedo del aire de admisión	–
$K_{W,r}$	Factor de corrección de seco a húmedo del gas de escape crudo	–
L	Relación porcentual del par al par máximo a la velocidad de ensayo del motor	%

Resolución 2: Código Técnico sobre los NO_x

Símbolo	Término	Unidad
masa	Caudal másico de las emisiones	g/h
p_a	Presión del vapor de saturación del aire de admisión del motor (en ISO 3046-1, 1995: $P_{sy} = PSY$, presión de vapor ambiente de ensayo)	kPa
p_B	Presión barométrica total (en ISO 3046-1, 1995: $P_x = PX$, presión ambiente total en el local; $P_y = PY$, presión ambiente total de ensayo)	kPa
p_s	Presión atmosférica en seco	kPa
P	Potencia al freno no corregida	kW
P_{AUX}	Potencia total declarada absorbida por los sistemas auxiliares montados para el ensayo pero innecesarios a bordo del buque	kW
P_m	Potencia máxima medida o declarada a la velocidad de ensayo del motor en las condiciones de ensayo	kW
r	Relación del área de la sección transversal de la sonda isocinética y del tubo de escape	–
R_a	Humedad relativa del aire de admisión	%
R_f	Factor de respuesta del FID	–
R_{fM}	Factor de respuesta del FID para el metanol	–
S	Lectura del dinamómetro	kW
T_a	Temperatura absoluta del aire de admisión	K
T_{Dd}	Temperatura absoluta de punto de rocío	K
T_{SC}	Temperatura del aire interenfriado	K
$T_{ref.}$	Temperatura de referencia (del aire de la combustión: 298 K)	K
T_{SCref}	Temperatura de referencia del aire interenfriado	K
V_{AIRD}	Caudal volumétrico del aire de admisión en seco	m ³ /h

Símbolo	Término	Unidad
V_{AIRW}	Caudal volumétrico del aire de admisión en húmedo	m^3/h
V_{EXHD}	Caudal volumétrico de los gases de escape en seco	m^3/h
V_{EXHW}	Caudal volumétrico de los gases de escape en húmedo	m^3/h
W_F	Coefficiente de ponderación	–

Tabla 4 – Símbolos y descripciones de términos y variables utilizados en las fórmulas del método de medición por equilibrado del carbono (véase el apéndice 6 del presente Código)

Abreviatura	Descripción	Unidad	Observaciones
<i>ALF</i>	Contenido de H del combustible	% m/m	
<i>AWC</i>	Peso atómico de C		
<i>AWH</i>	Peso atómico de H		
<i>AWN</i>	Peso atómico de N		
<i>AWO</i>	Peso atómico de O		
<i>AWS</i>	Peso atómico de S		
<i>BET</i>	Contenido de C del combustible	% m/m	
<i>CO2D</i>	Concentración de CO_2	% V/V	en gases de escape secos
<i>CO2W</i>	Concentración de CO_2	% V/V (húmedo)	en gases de escape húmedos
<i>COD</i>	Concentración de CO	ppm	en gases de escape secos
<i>COW</i>	Concentración de CO	pm	en gases de escape húmedos
<i>CW</i>	Hollín	mg/m^3	en gases de escape húmedos
<i>DEL</i>	Contenido de N del combustible	% m/m	
<i>EAFCD0</i>	Factor de aire sobrante basado en la combustión completa y la concentración de CO_2 , l_{V,CO_2}	kg/kg	
<i>EAFEXH</i>	Factor de aire sobrante basado en la concentración de componentes con contenido de carbono en los gases de escape, l_V	kg/kg	

Abreviatura	Descripción	Unidad	Observaciones
<i>EPS</i>	Contenido de O del combustible	% m/m	
<i>ETA</i>	Contenido de nitrógeno del aire de combustión húmedo	% m/m	
<i>EXHCPN</i>	Tasa de componentes con carbono en los gases de escape, c	V/V	
<i>EXHDENS</i>	Densidad de los escapes húmedos	kg/m ³	
<i>FFCB</i>	Factor específico del combustible para el cálculo de equilibrado del carbono		
<i>FFD</i>	Factor específico de combustible para el cálculo del flujo de gases de escape en seco		en seco
<i>FFH</i>	Factor específico del combustible utilizado para el cálculo de la concentración en húmedo a partir de la concentración en seco		
<i>FFW</i>	Factor específico del combustible para el cálculo del flujo de gases de escape en húmedo		en húmedo
<i>GAIRD</i>	Flujo másico del aire de combustión	kg/h	aire de combustión seco
<i>GAIRW</i>	Flujo másico del aire de combustión	kg/h	aire de combustión húmedo
<i>GAM</i>	Contenido de S del combustible	% m/m	
<i>GCO</i>	Emisión de CO	g/h	
<i>GCO2</i>	Emisión de CO ₂	g/h	

Resolución 2: Código Técnico sobre los NO_x

Abreviatura	Descripción	Unidad	Observaciones
<i>GEXHD</i>	Flujo másico de gases de escape	kg/h	gases de escape secos
<i>gexhw</i>	Flujo másico de gases de escape, calculado por el método de equilibrado del carbono, G_{EXHW}	kg/h	
<i>GEXHW</i>	Flujo másico de gases de escape	kg/h	gases de escape húmedos
<i>GFUEL</i>	Flujo másico del combustible	kg/h	
<i>GHC</i>	Emisión de HC	g/h	hidrocarburos
<i>GH2O</i>	Emisión de H_2O	g/h	
<i>GN2</i>	Emisión de N_2	g/h	
<i>GNO</i>	Emisión de NO	g/h	
<i>GNO2</i>	Emisión de NO_2	g/h	
<i>GO2</i>	Emisión de O_2	g/h	
<i>GSO2</i>	Emisión de SO_2	g/h	
<i>HCD</i>	Hidrocarburos	ppm C1	en gases de escape secos
<i>HCW</i>	Hidrocarburos	ppm C1	en gases de escape húmedos
<i>HTCRAT</i>	Relación hidrógeno-carbono del combustible, a	mol/mol	
<i>MV...</i>	Volumen molecular de ...	l/mol	gas de que se trata
<i>MW...</i>	Peso molecular de ...	g/mol	gas de que se trata
<i>NO2W</i>	Concentración de NO_2	ppm	en gases de escape húmedos
<i>NOW</i>	Concentración de NO	ppm	en gases de escape húmedos

Abreviatura	Descripción	Unidad	Observaciones
<i>NUE</i>	Contenido de agua del aire de combustión	% m/m	
<i>O2D</i>	Concentración de O ₂	% V/V	en gases de escape secos
<i>O2W</i>	Concentración de O ₂	% V/V (húmedo)	en gases de escape húmedos
<i>STOLAR</i>	Demanda estequiométrica de aire para la combustión de 1 kg de combustible	kg /kg	
<i>TAU</i>	Contenido de oxígeno del aire de combustión húmedo	% m/m	aire húmedo
<i>TAU1</i>	Contenido de oxígeno del aire de combustión húmedo emitido	% m/m	aire húmedo
<i>TAU2</i>	Contenido de oxígeno del aire de combustión húmedo quemado	% m/m	aire húmedo
<i>VCO</i>	Flujo volumétrico de CO	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)
<i>VCO2</i>	Flujo volumétrico de CO ₂	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)
<i>VH2O</i>	Flujo volumétrico de H ₂ O	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)
<i>VHC</i>	Flujo volumétrico de HC	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)
<i>VN2</i>	Flujo volumétrico de N ₂	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)
<i>VNO</i>	Flujo volumétrico de NO	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)
<i>VNO2</i>	Flujo volumétrico de NO ₂	m ³ /h	(contenido de los gases de escape)

Abreviatura	Descripción	Unidad	Observaciones
$V\text{O}_2$	Flujo volumétrico de O_2	m^3/h	(contenido de los gases de escape)
$V\text{SO}_2$	Flujo volumétrico de SO_2	m^3/h	(contenido de los gases de escape)

- Notas:
- Para metro cúbico patrón, o litro patrón, se emplean las unidades m^3 standard y l standard. El m^3 standard de un gas corresponde con los valores 273,15 K y 101,3 kPa.
 - La constante de equilibrio gas-agua es igual a 3,5.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Finalidad

El presente Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos, en adelante llamado “el Código”, tiene por objeto establecer normas para la inspección, el reconocimiento y la certificación de los motores diesel marinos a fin de que éstos satisfagan los límites de emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) especificados en [la regla 13 del Anexo VI](#) del Convenio MARPOL 73/78.

1.2 Ámbito de aplicación

1.2.1 El presente Código se aplica a todos los motores diesel de potencia de salida superior a 130 kW, instalados, o proyectados y destinados a ser instalados, a bordo de cualquier buque al que sea aplicable el Anexo VI, con la excepción de los motores especificados en [el párrafo 1 b\) de la regla 13](#). En cuanto a las prescripciones relativas al reconocimiento y la certificación que figuran en [la regla 5 del Anexo VI](#), el presente Código sólo trata de aquellas que debe cumplir el motor para respetar los límites de emisión de NO_x.

1.2.2 A los efectos de aplicación del presente Código, las administraciones podrán delegar todas las funciones que les corresponden en virtud del mismo en una organización autorizada para actuar en su nombre*. En todos los casos, la Administración asume plenamente la responsabilidad del reconocimiento y el certificado.

1.2.3 A los efectos del presente Código, se considerará que un motor se utiliza cumpliendo los límites de emisión de NO_x de la regla 13 del Anexo VI si se puede demostrar que las emisiones ponderadas de NO_x de dicho motor se encuentran dentro de esos límites en el momento del reconocimiento inicial de certificación, de los reconocimientos intermedios y de cualquier otro reconocimiento que sea necesario.

* Véanse las Directrices relativas a la autorización de las organizaciones que actúen en nombre de la Administración, aprobadas por la Organización mediante [la resolución A.739\(18\)](#), y las Especificaciones relativas a las funciones de reconocimiento y certificación de las organizaciones reconocidas que actúen en nombre de la Administración, aprobadas por la Organización mediante [la resolución A.789\(19\)](#).

1.3 Definiciones

1.3.1 *Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x)* : la emisión total de óxidos de nitrógeno, calculada en forma de emisión total ponderada de NO₂ y determinada mediante el uso de los ciclos de ensayo y métodos de medición que se especifican en el presente Código.

1.3.2 *Modificación apreciable* de un motor diesel marino:

1. tratándose de motores instalados en buques construidos el 1 de enero del año 2000 o posteriormente, toda modificación del motor que pueda hacer que sus emisiones superen las normas de emisión estipuladas en [la regla 13 del Anexo VI](#). La sustitución periódica de piezas del motor por otras, especificadas en el expediente técnico, que no alteren las características de emisión no se considerará una *modificación apreciable*, ya sean una o varias las piezas que se cambien;
2. tratándose de motores instalados en buques construidos antes del 1 de enero del año 2000, toda modificación del motor que haga que sus características de emisión aumenten con relación a sus características originales establecidas mediante el método de medición simplificado que se describe en [6.3](#), en proporción superior a los márgenes indicados en [6.3.11](#). Estos cambios incluyen, entre otros, los cambios del funcionamiento del motor o de sus parámetros técnicos (por ejemplo, modificaciones del árbol de levas, del sistema de inyección de combustible, del sistema de aire, de la configuración de la cámara de combustión o de la puesta a punto del motor).

1.3.3 *Elementos*: aquellas piezas intercambiables, identificadas por su número de proyecto o de pieza, que influyen en el nivel de emisiones de NO_x.

1.3.4 *Reglaje*: el ajuste de una característica regulable que influye en el nivel de emisiones de NO_x de un motor.

1.3.5 *Valores de funcionamiento*: los datos relativos al motor, tales como la presión máxima del cilindro, la temperatura de los gases de escape, etc., que constan en el cuaderno de trabajo del motor y que están relacionados con el nivel de emisiones de NO_x. Estos datos dependen de la carga.

1.3.6 *Certificado ELAPP*: el Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores en relación con las emisiones de NO_x.

1.3.7 *Certificado IAPP*: el Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica.

1.3.8 *Administración*: lo definido en el párrafo 5) del artículo 2 del MARPOL 73/78.

1.3.9 *Procedimientos de verificación de los NO_x a bordo*: el procedimiento, y posible equipo requerido, especificado por el fabricante y aprobado por la Administración, que se ha de utilizar a bordo durante el reconocimiento inicial de certificación o los reconocimientos periódicos e intermedios, según proceda, para comprobar el cumplimiento de cualquiera de las prescripciones del Código.

11.3.10 *Motor diesel marino*: todo motor alternativo de combustión interna que funcione con combustible líquido o mixto y al que se apliquen las reglas 5, 6 y 13 del Anexo VI, incluidos los sistemas de sobrealimentación o mixtos, en caso de que se empleen.

11.3.11 *Potencia de régimen*: la potencia nominal útil máxima continua especificada en la placa de identificación y en los expedientes técnicos de todos los motores diesel marinos a los que se apliquen la regla 13 del Anexo VI y el presente Código técnico.

1.3.12 *Velocidad de régimen*: las revoluciones por minuto del cigüeñal que establezcan la potencia de régimen según las especificaciones que consten en la placa de identificación del motor diesel marino y en su expediente técnico.

1.3.13 *Potencia al freno*: la potencia observada medida en el cigüeñal, o su equivalente, cuando el motor esté sólo equipado con los accesorios normales necesarios para que pueda funcionar en el banco de pruebas.

1.3.14 *Condiciones de a bordo* significa que el motor está:

- .1 instalado a bordo y acoplado al equipo que efectivamente mueve el motor; y
- .2 en funcionamiento para cumplir la finalidad del equipo.

1.3.15 *Expediente técnico*: registro en el que figuran todos los pormenores de los parámetros, incluidos los elementos y reglajes del motor, que pueden incidir en las emisiones de NO_x del motor, de conformidad con 2.4 del presente Código.

1.3.16 *Registro de los parámetros del motor* es el documento en que se hacen constar todos los cambios de los parámetros, incluidos los elementos y reglajes del motor, que pueden incidir en las emisiones de NO_x del motor.

Capítulo 2

Reconocimientos y certificación

2.1 Generalidades

2.1.1 Salvo que en el Código se permita expresamente lo contrario, todo motor diesel marino especificado en 1.2 será objeto de los siguientes reconocimientos:

- .1 un reconocimiento de certificación previa que garantice que el motor, conforme a su proyecto y equipo, se ajusta a los límites de emisión de NO_x indicados en la regla 13 del Anexo VI. Si el resultado de este reconocimiento confirma que el motor se ajusta a dichos límites, la Administración expedirá un Certificado EIAPP;
- .2 un reconocimiento inicial de certificación que se realizará a bordo del buque después de que se instale el motor pero antes de que el mismo entre en servicio. Este reconocimiento garantizará que el motor, una vez instalado a bordo del buque, con todos los ajustes o modificaciones efectuados desde la certificación previa, si procede, se ajusta a los límites de NO_x de la regla 13 del Anexo VI. Este reconocimiento, como parte del reconocimiento inicial del buque, podrá conducir a la expedición del Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica (IAPP) inicial del buque o a una modificación del Certificado IAPP válido del buque para que conste la instalación de un nuevo motor;
- .3 reconocimientos periódicos e intermedios, que se llevarán a cabo como parte de los reconocimientos del buque prescritos en la regla 5 del Anexo VI, a fin de garantizar que el motor sigue cumpliendo plenamente las prescripciones del presente Código;
- .4 un reconocimiento de certificación del motor que se realizará a bordo cada vez que se haga una modificación apreciable del motor, a fin de garantizar que el motor se ajusta a los límites de emisión de NO_x estipulados en la regla 13 del Anexo VI.

2.1.2 A fin de cumplir las prescripciones de reconocimiento y certificación indicadas en 2.2.1, el fabricante del motor, el constructor del buque o el propietario del buque, según corresponda, podrá escoger entre los cinco métodos previstos en el presente Código para realizar las mediciones, cálculos o ensayos relativos a las emisiones de NO_x del motor, a saber:

- .1 ensayo en el banco de pruebas para el reconocimiento de certificación previa, de conformidad con el capítulo 5;

- .2 ensayo a bordo de un motor sin certificación previa para un reconocimiento combinado de certificación previa e inicial, de conformidad con las prescripciones completas [del capítulo 5](#) relativas a los ensayos en el banco de pruebas;
- .3 método de comprobación a bordo de los parámetros del motor para confirmar el cumplimiento en los reconocimientos iniciales, periódicos e intermedios de los motores con certificación previa o de los motores cuyos elementos especificados y características regulables se hayan modificado o ajustado después del último reconocimiento, de conformidad con [6.2](#);
- .4 método simplificado de medición a bordo para confirmar el cumplimiento en los reconocimientos periódicos e intermedios, o la confirmación de motores con certificación previa en los reconocimientos de certificación inicial, de conformidad con [6.3](#) si es necesario; o
- .5 medición directa a bordo y vigilancia para confirmar el cumplimiento sólo en los reconocimientos periódicos e intermedios, de conformidad con [2.3.4](#), [2.3.5](#), [2.3.7](#), [2.3.8](#), [2.3.11](#), [2.4.4](#). y [5.5](#).

2.2 Procedimientos para la certificación previa de un motor

2.2.1 Con anterioridad a la instalación a bordo, todo motor diesel marino, excepto los autorizados en [2.2.2](#) y [2.2.4](#), será objeto de:

- .1 ajustes para cumplir los límites aplicables a las emisiones de NO_x;
- .2 una medición de sus emisiones de NO_x en el banco de pruebas de conformidad con los procedimientos especificados en [el capítulo 5 del presente Código](#); y de
- .3 una certificación previa a cargo de la Administración documentada mediante el oportuno Certificado EIAPP.

2.2.2 En lo que se refiere a la certificación previa de motores fabricados en serie, y a reserva de que lo apruebe la Administración, se podrá aplicar el concepto de familia o grupo de motores (véase [el capítulo 4](#)). En tal caso, el ensayo especificado en [2.2.1.2](#) sólo se precisará para el motor o los motores de referencia de un grupo o familia de motores.

2.2.3 El método para obtener la certificación previa de un motor consiste en que la Administración:

- .1 certifique un ensayo del motor en el banco de pruebas;

- .2 verifique que todos los motores sometidos a ensayo, incluidos los que se vayan a entregar como parte de un grupo o familia de motores, si procede, cumplen los límites de NO_x; y
- .3 verifique, si procede, que el motor o los motores de referencia seleccionados representan el grupo o familia de motores.

2.2.4 Hay motores que, debido a su tamaño, construcción y calendario de entrega, no pueden ser objeto de certificación previa en el banco de pruebas. En tales casos, el fabricante del motor, el propietario del buque o el constructor del buque presentará una solicitud a la Administración con miras a realizar un ensayo a bordo (véase 2.1.2.2). El solicitante demostrará a la Administración que el ensayo a bordo satisface plenamente todos los requisitos del procedimiento de ensayo en el banco de pruebas especificados en [el capítulo 5 del presente Código](#). Tal reconocimiento podrá aceptarse cuando se trate de un motor o de un grupo de motores representado únicamente por el motor de referencia, pero no se aceptará para la certificación de una familia de motores. En ningún caso se concederá un margen para posibles diferencias de las mediciones si el reconocimiento inicial se lleva a cabo a bordo de un buque sin ensayo de certificación previa válido.

2.2.5 Si los resultados del ensayo de certificación previa demuestran que un motor no se ajusta a los límites de emisión de NO_x prescritos en [la regla 13 del Anexo VI](#), se podrá instalar un dispositivo reductor de NO_x. Este dispositivo, una vez instalado en el motor, tendrá que constar como componente esencial del motor y su presencia se consignará en el expediente técnico. Para que este montaje obtenga el Certificado EIAPP, el motor, con el dispositivo reductor instalado, se tendrá que someter a ensayo de nuevo para determinar que se ajusta a los límites de emisión de NO_x. Sin embargo, en este caso, el montaje se podrá someter a ensayo de nuevo de conformidad con el método simplificado de mediciones descrito en [6.3](#). El dispositivo reductor de NO_x se mencionará en el Certificado EIAPP, junto con todas las demás anotaciones exigidas por la Administración. En el expediente técnico del motor se indicarán asimismo los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo aplicables para cerciorarse de que el dispositivo funciona correctamente.

2.2.6 Para la certificación previa de los motores de una familia o grupo de motores, se expedirá un Certificado EIAPP, de conformidad con los procedimientos establecidos por la Administración, al motor o a los motores de referencia y a todo motor emparentado que se fabrique con dicha certificación, y éste los acompañará durante toda su vida útil mientras estén instalados en buques bajo la autoridad de esa Administración.

2.2.7.1 Cuando un motor se fabrique fuera del país de la Administración del buque en el cual se vaya a instalar, la Administración del buque podrá pedir a la Administración del país en el que se fabrique el motor que efectúe un reconocimiento del mismo. Si se comprueba que el motor cumple las prescripciones de [la regla 13 del Anexo VI](#) de conformidad con el presente Código, la Administración del país en que se fabrique el motor expedirá o autorizará la expedición del Certificado EIAPP.

2.2.7.2 Se transmitirá copia del certificado o de los certificados y copia del informe relativo al reconocimiento tan pronto como sea posible a la Administración que lo solicite.

2.2.7.3 El certificado así expedido contendrá una declaración en la que se indique que se ha expedido a petición de la Administración.

2.2.8 En [la figura 1 del apéndice 2](#) del Código se proporciona un diagrama de operaciones con orientación para cumplir las prescripciones relativas al reconocimiento de certificación previa de los motores diesel marinos que se vayan a instalar a bordo de los buques.

2.2.9 En [el apéndice 1 del Código](#) se adjunta un modelo de Certificado EIAPP.

2.3 Procedimientos para la certificación de un motor

2.3.1 Para aquellos motores que no se hayan ajustado o modificado en lo que respecta a las especificaciones del fabricante, bastará con que dispongan de un Certificado EIAPP válido para demostrar que se ajustan a los límites aplicables de emisión de NO_x.

2.3.2 Tras su instalación a bordo, se determinará si el motor ha sido objeto de nuevos ajustes o modificaciones que puedan incidir en las emisiones de NO_x. Por consiguiente, una vez instalado a bordo, pero antes de expedir el Certificado IAPP, se inspeccionará el motor para establecer si se han realizado modificaciones y se aprobará siguiendo los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo y uno de los métodos descritos en [2.1.2](#).

2.3.3 Hay motores que, después de la certificación previa, necesitan ajustes finales o modificaciones para dar su máximo rendimiento. En tal caso, podría utilizarse el concepto de grupo de motores para garantizar que el motor sigue ajustándose a los límites estipulados.

2.3.4 El propietario del buque podrá optar por la medición directa de las emisiones de NO_x mientras el motor esté funcionando. Ésta podrá adoptar la forma de comprobaciones aleatorias, que se anotarán regularmente con otros datos de funcionamiento del motor, para todas las modalidades de funcionamiento del motor, u obtenerse mediante la

vigilancia continua y el almacenamiento de los datos. Éstos habrán de ser recientes (de los últimos 30 días) y haberse obtenido siguiendo los procedimientos especificados en el presente Código. Estos registros de vigilancia se conservarán a bordo durante tres meses para fines de verificación por las Partes en el Protocolo de 1997. La información se corregirá asimismo teniendo en cuenta las condiciones ambientales y las especificaciones del combustible, y se tendrá que comprobar que el equipo de medición está correctamente calibrado y funciona debidamente, de conformidad con los procedimientos especificados por el fabricante del equipo de medición en el expediente técnico del motor. Si se han instalado dispositivos de tratamiento de los gases de escape que incidan en las emisiones de NO_x , el punto o los puntos de medición estarán situados después de dichos dispositivos.

2.3.5 Para demostrar el cumplimiento mediante el método de medición directo, se habrán de obtener datos suficientes para calcular el promedio ponderado de las emisiones de NO_x de conformidad con el presente Código.

2.3.6 Todo motor instalado a bordo de un buque estará provisto de un expediente técnico. El expediente técnico será preparado por el fabricante del motor y aprobado por la Administración, y acompañará al motor durante su vida útil a bordo. El expediente técnico contendrá la información especificada en 2.4.1.

2.3.7 Cuando se haya instalado un dispositivo de tratamiento de los gases de escape y que éste sea necesario para observar los límites de NO_x , una de las opciones que permite verificar fácilmente el cumplimiento de [la regla 13 del Anexo VI](#) es la medición directa y la vigilancia de las emisiones de NO_x de conformidad con 2.3.4. Sin embargo, en función de las posibilidades técnicas del dispositivo utilizado y a reserva de que la Administración dé su aprobación, podrán vigilarse también otros parámetros pertinentes.

2.3.8 Cuando, para conseguir el cumplimiento de las prescripciones aplicables a las emisiones de NO_x , se introduzca una sustancia adicional, tal como amoníaco, urea, vapor, agua, aditivos del combustible, etc., se proveerá un medio que permita vigilar el consumo de dicha sustancia. El expediente técnico proporcionará suficiente información para que se pueda demostrar fácilmente que el consumo de dichas sustancias adicionales es compatible con el cumplimiento de los límites aplicables de emisión de NO_x .

2.3.9 En caso de que se lleven a cabo ajustes o modificaciones del motor después de su certificación previa, tales ajustes o modificaciones deberán consignarse en el registro de los parámetros del motor.

2.3.10 Cuando se verifique que todos los motores conservan los parámetros, elementos y características regulables registrados en el expediente técnico, se aceptará que el motor se ajusta a los límites de emisión de NO_x prescritos en [la regla 13 del Anexo VI](#). En tal caso, conforme al presente Código, se expedirá al buque un Certificado IAPP.

2.3.11 Si se efectúa cualquier ajuste o modificación que exceda de los límites aprobados que se indican en el expediente técnico, solamente se podrá expedir el Certificado IAPP si se verifica que el nivel total de las emisiones de NO_x se sitúa dentro de los límites prescritos mediante: vigilancia directa a bordo de las emisiones de NO_x, tal como lo apruebe la Administración, medición simplificada a bordo de dichas emisiones, o referencia al ensayo en banco de pruebas para la homologación del grupo de motores pertinente, que muestre que los ajustes o modificaciones realizados no acarrearán una superación de los límites de emisión de NO_x.

2.3.12 La Administración podrá, a discreción suya, limitar o reducir todas las partes del reconocimiento a bordo, de conformidad con el presente Código, a un motor al cual se haya expedido un Certificado EIAPP. Sin embargo, la totalidad del reconocimiento a bordo deberá llevarse a cabo respecto de, por lo menos, un cilindro o un motor de una familia de motores o grupo de motores, o una pieza de respeto, si procede, y sólo se podrá limitar el reconocimiento si cabe esperar que todos los demás cilindros, motores o piezas de respeto funcionen del mismo modo que el motor, cilindro o pieza de respeto sometidos a reconocimiento.

2.3.13 En [las figuras 2 y 3 del apéndice 2](#) del presente Código se proporcionan diagramas de flujos en los que se indica cómo cumplir las prescripciones relativas a los reconocimientos iniciales, periódicos e intermedios para la certificación de los motores diesel marinos instalados a bordo.

2.4 Expediente técnico y procedimientos de verificación de los NO_x a bordo

2.4.1 A fin de permitir que la Administración realice los reconocimientos del motor descritos en 2.1, el expediente técnico prescrito en 2.3.6 contendrá, como mínimo, la siguiente información:

- 1 indicación de aquellos elementos, reglajes y valores de funcionamiento del motor que influyen en sus emisiones de NO_x;
- 2 indicación de toda la gama de ajustes o variantes posibles de los elementos del motor;

- .3 registro completo de las características de funcionamiento del motor, incluidas la potencia y la velocidad de régimen;
- .4 un sistema de procedimientos de verificación de los NO_x a bordo para comprobar el cumplimiento de los límites de emisión de NO_x durante los reconocimientos de verificación a bordo, conforme con lo estipulado en el capítulo 6;
- .5 una copia del informe relativo al ensayo, prescrito en 5.10;
- .6 si procede, la designación y las restricciones aplicables a un motor perteneciente a un grupo o familia de motores;
- .7 especificaciones de los elementos y piezas de respeto que permitirán, cuando dichos elementos y piezas se utilicen en el motor con arreglo a ellas, que el motor siga ajustándose a los límites establecidos para las emisiones de NO_x; y
- .8 el Certificado EIAPP, según proceda.

2.4.2 A fin de garantizar que los motores cumplen lo dispuesto en la [regla 13 del Anexo VI](#) después de su instalación, todo motor que disponga de un Certificado EIAPP se comprobará al menos una vez antes de expedir el Certificado IAPP. Dicha comprobación podrá llevarse a cabo mediante los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo especificados en el expediente técnico del motor, o uno de los otros métodos si el representante del propietario no desea efectuar la comprobación sirviéndose de los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo.

2.4.3 En general, los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo deberán permitir que el inspector determine fácilmente si el motor sigue cumpliendo lo dispuesto en la [regla 13 del Anexo VI](#). Al mismo tiempo, dichos procedimientos no serán excesivamente complicados, para no retrasar indebidamente al buque y que el inspector no precise un conocimiento minucioso de las características del motor de que se trate ni dispositivos de medición especiales no disponibles a bordo.

2.4.4 Los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo se determinarán aplicando uno de los siguientes métodos:

- .1 método de verificación de los parámetros del motor conforme con [6.2](#), para confirmar que los elementos, ajustes y valores de funcionamiento del motor no se han apartado de las especificaciones que figuran en el expediente técnico del motor;
- .2 método de medición simplificado conforme con [6.3](#); o

- .3 método directo de medición y vigilancia conforme con los párrafos 2.3.4, 2.3.5, 2.3.7, 2.3.8, 2.3.11 y 5.5.

2.4.5 Cuando se especifique que un dispositivo de vigilancia y registro de los NO_x es un procedimiento de comprobación a bordo de las emisiones de NO_x, tal dispositivo será aprobado por la Administración de conformidad con las directrices que elabore la Organización. Esas directrices incluirán los siguientes elementos:

- .1 definición de la vigilancia continua de los NO_x, teniendo en cuenta tanto el régimen constante como los transitorios de funcionamiento del motor;
- .2 registro, tratamiento y retención de datos;
- .3 especificación del equipo para garantizar que se mantiene su fiabilidad durante el servicio;
- .4 especificación de los ensayos ambientales del dispositivo;
- .5 especificación para el ensayo del equipo a fin de demostrar que tiene precisión, repetibilidad y sensibilidad múltiple suficientes según las secciones aplicables del presente Código; y
- .6 modelo del certificado de homologación expedido por la Administración.

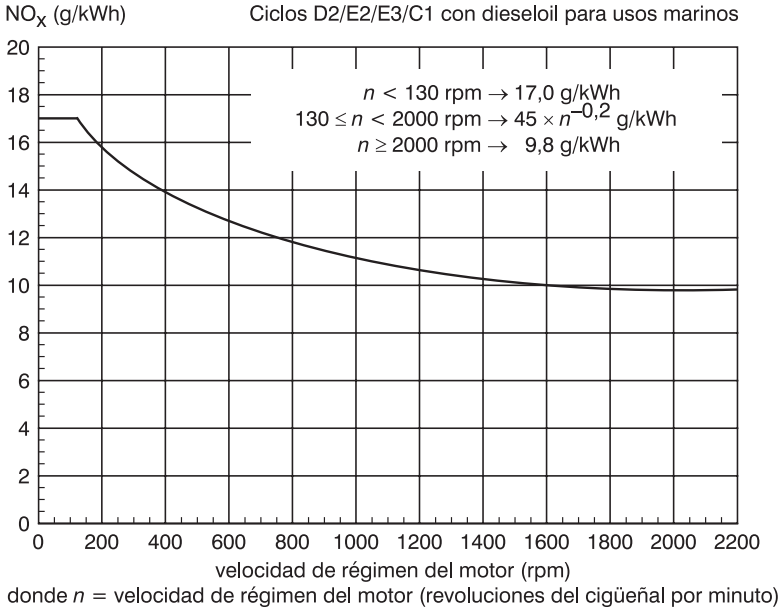
2.4.6 Al determinar los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo que se incluirán en el expediente técnico del motor para comprobar si el motor se ajusta a los límites de NO_x durante cualquiera de los reconocimientos de verificación a bordo prescritos, después de la expedición de un Certificado IAPP, el fabricante del motor o el propietario del buque podrá escoger cualquiera de los tres métodos de verificación a bordo de las emisiones de NO_x especificados en 6.1.

Capítulo 3

Normas relativas a la emisión de óxidos de nitrógeno

3.1 Límites máximos admisibles de emisión de NO_x de los motores diesel marinos

3.1.1 La figura 1 es un gráfico de los valores límite máximos admisibles de emisión de NO_x, basados en las fórmulas especificadas en el párrafo 3 a) de la regla 13 del Anexo VI. Las emisiones totales ponderadas de NO_x, medidas y calculadas de conformidad con los procedimientos que figuran en el presente Código, deberán ser iguales o inferiores al valor aplicable del gráfico que corresponda a la velocidad de régimen del motor.



97596

Figura 1 – Emisiones máximas admisibles de NO_x de los motores diesel marinos

3.1.2 Cuando el motor funcione con dieseloil para usos marinos, de conformidad con 5.3, se determinará la emisión total de óxidos de nitrógeno (calculada como emisión total ponderada de NO₂) mediante los ciclos de ensayo pertinentes y los métodos de medición especificados en el presente Código.

3.1.3 En el Certificado EIAPP del motor se indicará el valor límite aplicable de las emisiones de gases de escape correspondiente a la figura 1 y el valor real calculado de las mismas.

3.2 Ciclos de ensayo y factores de ponderación que procede aplicar

3.2.1 Para cada motor particular o motor de referencia de un grupo o familia de motores, se aplicará uno de los ciclos de ensayo especificados en 3.2.2 a 3.2.6 a fin de verificar que se ajusta a los límites de emisión de NO_x, de conformidad con la regla 13 del Anexo VI.

3.2.2 Para los motores marinos de velocidad constante utilizados para la propulsión principal del buque, incluida la transmisión diesel eléctrica, se aplicará el ciclo de ensayo E2, de conformidad con la tabla 1.

3.2.3 En el caso de una instalación con hélice de paso regulable, se aplicará el ciclo de ensayo E2, de conformidad con la tabla 1.

Tabla 1 – Ciclo de ensayo para sistemas de “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

3.2.4 Para los motores principales y auxiliares adaptados a la demanda de la hélice, se aplicará el ciclo de ensayo E3, de conformidad con la tabla 2.

Tabla 2 – 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

3.2.5 Para los motores auxiliares de velocidad constante, se aplicará el ciclo de ensayo D2, de conformidad con la tabla 3.

Tabla 3 – 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

3.2.6 Para los motores auxiliares de carga y velocidad regulables, se aplicará el ciclo de ensayo C1, de conformidad con la tabla 4.

Tabla 4 – Ciclo de ensayo para “motores auxiliares de carga y velocidad regulables”

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

3.2.7 Los valores del par dados en el ciclo de ensayo C1 son porcentajes que representan, para un tipo de ensayo determinado, la relación del par requerido al par máximo posible a la velocidad dada.

3.2.8 El fabricante declarará la velocidad intermedia para el ciclo de ensayo C1, teniendo en cuenta las prescripciones siguientes:

- .1 para los motores proyectados para funcionar en una gama de velocidades correspondiente a una curva de par a plena carga, la velocidad intermedia será la velocidad correspondiente al par máximo declarado si ésta se sitúa entre el 60% y el 75% de la velocidad de régimen;
- .2 si el par-velocidad máxima declarado es inferior al 60% de la velocidad de régimen, la velocidad intermedia será el 60% de la velocidad de régimen;
- .3 si el par-velocidad máxima declarado es superior al 75% de la velocidad de régimen, la velocidad intermedia será el 75% de la velocidad de régimen;
- .4 para los motores que no han sido proyectados para funcionar en una gama de velocidades correspondiente a la curva del par a plena carga en condiciones de régimen constante, la velocidad intermedia se situará generalmente entre el 60% y el 70% de la velocidad máxima de régimen.

3.2.9 Si un fabricante de motores presenta una solicitud para realizar un nuevo ciclo de ensayo de un motor que ya haya sido certificado con arreglo a un ciclo de ensayo diferente especificado en 3.2.2 a 3.2.6, la nueva solicitud no requerirá que dicho motor se someta a todo el proceso de certificación. En tal caso, el fabricante del motor podrá demostrar el cumplimiento mediante un nuevo cálculo, aplicando los resultados de las mediciones correspondientes al ciclo de ensayo de la

primera certificación al cálculo de las emisiones ponderadas totales para el nuevo ciclo de ensayo y utilizando los factores de ponderación correspondientes al nuevo ciclo de ensayo.

Capítulo 4

Homologación de motores fabricados en serie: familia de motores y grupo de motores

4.1 Generalidades

4.1.1 Para no tener que realizar un ensayo de certificación de cada motor a fin de comprobar si éstos se ajustan a los límites de emisión de NO_x, podrán adoptarse dos conceptos para la homologación, a saber, el concepto de familia de motores o el de grupo de motores.

4.1.2 El concepto de familia de motores se podrá aplicar a los motores producidos en serie que, por su proyecto, tengan características similares de emisión de NO_x, se utilicen tal como se han fabricado y, al instalarlos a bordo, no requieran ajustes o modificaciones que puedan repercutir desfavorablemente sobre las emisiones de NO_x.

4.1.3 El concepto de grupo de motores se podrá aplicar a series más reducidas de motores fabricados para usos similares, que requieran ajustes o modificaciones de escasa importancia en el momento de su instalación o mientras están en servicio a bordo. Por lo general, se trata de motores de gran potencia para la propulsión principal.

4.1.4 El fabricante será quien determine inicialmente si los motores corresponden al concepto de familia de motores o al de grupo de motores. En general, el tipo de concepto que se utilice dependerá de si es necesario modificar los motores, y en qué medida, una vez efectuado el ensayo en el banco de pruebas.

4.2 Documentación

4.2.1 Todos los documentos de certificación deberán ser establecidos y debidamente sellados por la autoridad facultada a ese efecto. Dicha documentación contendrá asimismo todos los plazos y condiciones impuestos, incluida la sustitución de piezas de respeto, de manera que los motores cumplan en todo momento las normas de emisión prescritas.

4.2.2 Si se trata de un motor perteneciente a un grupo de motores, la documentación necesaria para el método de verificación de los parámetros del motor figura en [6.2.3.6](#).

4.3 Aplicación del concepto de familia de motores

4.3.1 El concepto de familia de motores ofrece la posibilidad de reducir el número de motores que debe someterse a ensayo de homologación y garantiza a la vez que todos los motores de la familia cumplen las prescripciones de homologación. Según el concepto de familia de motores, los motores cuyas características de emisión y proyecto son similares están representados por un motor de referencia de la familia.

4.3.2 El concepto de familia de motores se puede aplicar a los motores de producción en serie que no esté previsto modificar.

4.3.3 El procedimiento de selección del motor de referencia será tal que el motor seleccionado incorpore aquellas características que afecten más desfavorablemente al nivel de emisiones de NO_x. Por lo general, dicho motor tendrá el nivel más alto de emisiones de NO_x de todos los motores de la familia.

4.3.4 Teniendo en cuenta los ensayos realizados y su juicio técnico, el fabricante propondrá cuáles son los motores que pertenecen a una misma familia, cuáles son los que producen las emisiones de NO_x más altas y cuáles deberán someterse al ensayo de certificación.

4.3.5 A efectos de homologarlo para su certificación, la Administración examinará el motor de referencia de la familia seleccionado y tendrá la posibilidad de elegir un motor distinto para someterlo a un ensayo de homologación o para determinar que la producción es conforme con las normas establecidas, a fin de cerciorarse de que la familia entera de motores se ajusta a los límites de emisión de NO_x.

4.3.6 El concepto de familia de motores permite efectuar pequeños ajustes de los motores mediante sus características regulables. Los motores marinos dotados de características regulables tendrán que cumplir todas las prescripciones para cualquier ajuste dentro de la gama de ajustes materialmente disponible. Se considerará que una característica no es regulable cuando esté permanentemente sellada o no se tenga normalmente acceso a ella. La Administración podrá exigir que las características regulables correspondan a una especificación determinada de la gama de reglajes para fines de certificación del motor o ensayo del mismo en funcionamiento, a fin de determinar si el motor cumple las prescripciones.

4.3.7 Antes de homologar una familia de motores, la Administración tomará las medidas oportunas para verificar que se han establecido medios adecuados que garanticen el control efectivo de la producción.

4.3.8 Directrices para seleccionar una familia de motores

4.3.8.1 La familia de motores se definirá mediante características básicas que deben ser comunes a todos los motores que la integran. Es posible que en determinados casos la interacción de parámetros tenga consecuencias, las cuales deberán asimismo tenerse en cuenta para garantizar que solamente se incluyan en una misma familia de motores aquellos que tengan características similares de emisión de gases de escape. Por ejemplo, el número de cilindros puede ser un parámetro pertinente en determinados motores debido al sistema de aspiración o de combustible utilizado, mientras que en otros motores de proyecto distinto las características de emisión de gases de escape pueden ser independientes del número de cilindros o de su configuración.

4.3.8.2 Incumbe al fabricante de motores la responsabilidad de seleccionar entre los distintos modelos de su producción los motores que constituirán una familia. Aunque las especificaciones puedan diferir, todos los motores de una misma familia tendrán que ajustarse a las siguientes características básicas:

- .1 ciclo de combustión
 - ciclo de 2 tiempos
 - ciclo de 4 tiempos
- .2 medio refrigerante
 - aire
 - agua
 - aceite
- .3 cilindrada
 - no deberá variar más de un 15%
- .4 número y configuración de los cilindros
 - aplicable únicamente en ciertos casos, por ejemplo en combinación con dispositivos de limpieza de gases de escape
- .5 método de aspiración del aire
 - aspiración natural
 - sobrealimentación
- .6 tipo de combustible
 - destilado o fueloil pesado
 - combustible mixto
- .7 cámara de combustión
 - cámara abierta
 - cámara dividida

- .8 válvulas y lumbbrero, configuración, tamaño y número
 - culata del cilindro
 - pared del cilindro
- .9 tipo de sistema de combustible
 - inyector con bomba
 - en línea
 - distribuidor
 - de un solo elemento
 - inyector unitario
 - válvula de gas
- .10 características varias
 - recirculación de los gases de escape
 - inyección de agua o de emulsión
 - inyección de aire
 - sistema refrigerador de alimentación
 - limpieza externa de los gases de escape
 - catalizador de reducción
 - catalizador de oxidación
 - reactor térmico
 - interceptor de partículas.

4.3.8.3 Si hubiera motores con otras características que puedan afectar a las emisiones de NO_x , será necesario determinar dichas características y tenerlas en cuenta al seleccionar los motores que constituirán una familia.

4.3.9 *Directrices para la selección del motor de referencia de una familia de motores*

4.3.9.1 El método de selección del motor de referencia para la medición de los NO_x deberá ser acordado con la Administración y aprobado por ésta. El método estará basado en la selección de un motor que incorpore particularidades y características que, según haya demostrado la experiencia, produzcan las más altas emisiones de NO_x , expresadas en gramos por kilovatio hora (g/kWh), lo cual exige un conocimiento detallado de los de la familia. En ciertas circunstancias, la Administración podrá concluir que la mejor manera de determinar cuál es la peor tasa de emisión de NO_x de la familia es sometiendo a prueba un segundo motor. Por consiguiente, la Administración podrá seleccionar otro motor para someterlo a prueba basándose en

particularidades que indiquen que éste puede tener los niveles de emisión de NO_x más altos de los motores que pertenecen a esa familia. Si los motores de una familia reúnen otras características variables que puedan afectar a las emisiones de NO_x , dichas características también deberán determinarse y tenerse en cuenta para la selección del motor de referencia.

4.3.9.2 Para seleccionar el motor de referencia para el control de las emisiones de NO_x se utilizarán los criterios siguientes, pero deberá tenerse en cuenta la combinación de características básicas en las especificaciones del motor:

- .1 criterio principal de selección
 - régimen más alto de alimentación de combustible
- .2 criterios suplementarios de selección
 - presión efectiva media más alta
 - presión máxima de cilindro más alta
 - relación aire de carga/presión de ignición más alta
 - $dp/d\alpha$, pendiente de la curva de combustión más baja
 - presión del aire de carga más alta
 - temperatura del aire de carga más alta

4.3.9.3 Si los motores de la familia tienen otras características variables que puedan afectar a las emisiones de NO_x , habrá que determinar también dichas características y éstas se deberán tener en cuenta al seleccionar el motor de referencia.

4.3.10 *Certificación de una familia de motores*

4.3.10.1 La certificación incluirá una lista, preparada y mantenida por el fabricante del motor, y aprobada por la Administración, de todos los motores aceptados en la misma familia de motores, sus correspondientes especificaciones, los límites de sus condiciones de funcionamiento y los detalles y límites de los ajustes que sean admisibles.

4.3.10.2 Se expedirá un certificado previo, o un Certificado EIAPP, de conformidad con el presente Código, a cada motor de una familia completa de motores, para certificar que el motor de referencia se ajusta a los niveles de NO_x especificados en [la regla 13 del Anexo VI](#).

4.3.10.3 Cuando se hayan llevado a cabo el ensayo o las mediciones del motor de referencia de una familia de motores en las condiciones más desfavorables especificadas en el Código y se confirme que se ajusta a los límites máximos de emisión permisibles (véase [3.1](#)), los resultados del ensayo y de las mediciones de NO_x se anotarán en el Certificado EIAPP

que se expida para el motor de referencia en particular y para todos los motores de la misma familia.

4.3.10.4 Si dos o varias Administraciones acuerdan aceptar mutuamente sus respectivos certificados EIAPP, toda la familia de motores certificada por una de las Administraciones deberá ser aceptada por las otras Administraciones que establecieron el acuerdo con la Administración que expidió el certificado. Los certificados expedidos de conformidad con tales acuerdos serán aceptados como prueba suficiente a primera vista de que todos los motores incluidos en la certificación de la familia de motores cumplen las prescripciones específicas relativas a las emisiones de NO_x. No habrá necesidad de pruebas adicionales del cumplimiento de [la regla 13 del Anexo VI](#), cuando se verifique que el motor instalado no ha sido modificado y que los ajustes del motor se sitúan dentro de la gama permitida en la certificación de la familia de motores.

4.3.10.5 Cuando el motor de referencia de una familia de motores se haya de certificar con arreglo a una norma o según un ciclo de ensayo distintos de los permitidos por el presente Código, el fabricante tendrá que demostrar a la Administración que las emisiones medias ponderadas de NO_x para los ciclos de ensayo apropiados están comprendidas entre los límites pertinentes establecidos en la regla 13 del Anexo VI y en el presente Código, antes de que la Administración pueda expedir un Certificado EIAPP.

4.3.10.6 Antes de homologar una familia de motores para una nueva producción en serie, la Administración adoptará las medidas oportunas para verificar que se han tomado disposiciones que garanticen el control eficaz de la producción. Esta prescripción puede no ser necesaria para las familias que se establezcan con el propósito de efectuar modificaciones de los motores a bordo, una vez que se haya expedido un Certificado EIAPP.

4.4 Aplicación del concepto de grupo de motores

4.4.1 Se trata de motores utilizados fundamentalmente para fines de propulsión principal. Éstos requieren, por lo general, ajustes o modificaciones para adaptarlos a las condiciones de funcionamiento de a bordo, si bien no se deberán exceder, como consecuencia de dichos ajustes o modificaciones, los límites de las emisiones de NO_x establecidos en [3.1 del presente Código](#).

4.4.2 El concepto de grupo de motores ofrece asimismo la posibilidad de reducir los ensayos de homologación en caso de modificación de los motores durante la producción o mientras estén en servicio.

4.4.3 En general, el concepto de grupo de motores se podrá aplicar a cualquier tipo de motor que tenga las mismas características de proyecto que se especifican en 4.4.5, si bien se permite el ajuste o modificación de un motor tras las mediciones en el banco de pruebas. La gama de motores de un grupo de motores y el motor de referencia elegido deberán ser aceptados y homologados por la Administración.

4.4.4 Si el fabricante del motor, u otra parte interesada, solicita la aplicación del concepto de grupo de motores, la Administración examinará la solicitud a fin de entender la correspondiente homologación para la certificación. En caso de que, con el apoyo técnico del fabricante del motor o sin él, el propietario del motor decida realizar modificaciones en diversos motores similares de su flota, éste podrá solicitar una certificación de grupo de motores que incluya un ensayo del motor en el banco de pruebas. Valga citar como ejemplos típicos la realización de modificaciones similares en motores que estén en servicio o de motores similares en condiciones de funcionamiento similares.

4.4.5 *Directrices para la selección de un grupo de motores*

4.4.5.1 El grupo de motores se podrá definir por características y especificaciones básicas, además de los parámetros establecidos para una familia de motores en 4.3.8.

4.4.5.2 Todos los motores de un mismo grupo tendrán que ajustarse a los siguientes parámetros y especificaciones:

- .1 diámetro y carrera,
- .2 método y características de proyecto del sistema de alimentación a presión y de gases de escape,
 - presión constante
 - sistema pulsador
- .3 método del sistema de refrigeración del aire de carga,
 - con o sin refrigerador del aire de carga
- .4 características de proyecto de la cámara de combustión que repercuten sobre las emisiones de NO_x,
- .5 características de proyecto del sistema de inyección de combustible, del émbolo y del perfil de la leva de inyección que puedan constituir características básicas que repercuten sobre las emisiones de NO_x, y

- .6 potencia nominal máxima por cilindro a la velocidad máxima de régimen. El fabricante deberá declarar el intervalo permitido de reducción de potencia dentro del grupo de motores, y dicho intervalo deberá ser aprobado por la Administración.

4.4.5.3 En general, cuando los parámetros prescritos en 4.4.5.2 no sean comunes a todos los motores de un posible grupo de motores, no se podrá considerar que éstos constituyen un grupo de motores. Sin embargo, si sólo uno de dichos parámetros o especificaciones no es común a todos los motores de un posible grupo de motores, se podrá considerar que éstos constituyen un grupo de motores, siempre que el fabricante de los motores o el propietario del buque pueda demostrar a la Administración, por medio del expediente técnico, que la diferencia del parámetro o especificación de que se trate no impedirá que todos los motores del grupo se ajusten a los límites de emisión de NO_x .

4.4.6 *Directrices relativas a los ajustes o modificaciones admisibles dentro de un grupo de motores*

4.4.6.1 Con el acuerdo previo de las partes interesadas y la aprobación de la Administración, se permitirán, de conformidad con el concepto de grupo de motores, ajustes y modificaciones de escasa importancia después de la certificación previa o de las mediciones finales en el banco de pruebas, cuando:

- .1 la verificación de los parámetros del motor que afectan a las emisiones, de los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo o de los datos facilitados por el fabricante del motor confirmen que el motor regulado o modificado se ajusta a los límites de emisión aplicables. Los resultados del ensayo en el banco de pruebas para determinar las emisiones de NO_x del motor se deberían aceptar como posible verificación de los ajustes o modificaciones realizados a bordo con respecto a un motor perteneciente a un grupo de motores; o
- .2 las mediciones efectuadas a bordo confirmen que el motor regulado o modificado se ajusta a los límites aplicables de emisión de NO_x .

4.4.6.2 A continuación se dan ejemplos de ajustes y modificaciones admisibles de un grupo de motores, sin que la lista sea exhaustiva:

- .1 para tener en cuenta las condiciones de a bordo, ajuste de:
 - la regulación del avance de la inyección para compensar diferencias de las características del combustible,

- la regulación del avance de la inyección para optimizar la presión máxima del cilindro,
 - las diferencias de suministro de combustible entre cilindros.
- .2 para obtener prestaciones óptimas, modificación de:
- la turbosoplante,
 - los elementos de la bomba de inyección,
 - especificaciones del émbolo
 - especificaciones de la válvula de suministro
 - las toberas de inyección,
 - los perfiles de leva,
 - válvula de admisión o escape
 - leva de inyección
 - la cámara de combustión.

4.4.6.3 Los anteriores ejemplos de modificaciones posteriores al ensayo en el banco de pruebas se refieren a mejoras esenciales de los elementos o prestaciones del motor durante su vida útil. Ésta es una de las principales razones de la existencia del concepto de grupo de motores. La Administración, previa solicitud, podrá aceptar los resultados de una prueba de demostración de un motor, posiblemente un motor de prueba, que indiquen los efectos de las modificaciones sobre el nivel de las emisiones de NO_x que puedan ser aceptados para todos los motores del grupo, sin que sea necesario efectuar las mediciones para cada uno a fin de certificarlos.

4.4.7 *Directrices para la selección del motor de referencia de un grupo de motores*

La selección del motor de referencia se efectuará con arreglo a los criterios indicados en 4.3.9 que sean aplicables. No siempre resulta posible seleccionar un motor de referencia entre una serie de motores fabricados en cantidad reducida de la misma manera que cuando se trata de motores fabricados en serie (familia de motores). El primer motor encargado podrá registrarse como motor de referencia. El método utilizado para seleccionar al motor de referencia que represente a un grupo de motores deberá ser aprobado por la Administración.

4.4.8 *Certificación de un grupo de motores*

Las prescripciones de 4.3.10 se aplican *mutatis mutandis* a la presente sección.

Capítulo 5

Procedimientos para medir las emisiones de NO_x en un banco de pruebas

5.1 Generalidades

5.1.1 El procedimiento aquí indicado se aplicará a todo ensayo para la homologación inicial de un motor marino, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa el ensayo (métodos descritos en [2.1.2.1](#) y [2.1.2.2](#)).

5.1.2 En este capítulo se especifican los métodos para medir y calcular las emisiones de gases de escape de los motores alternativos de combustión interna (motores ACI) en condiciones de régimen constante, con objeto de determinar el valor medio ponderado de los NO_x en las emisiones de gases de escape.

5.1.3 Muchos de los procedimientos descritos a continuación constituyen una relación detallada de los métodos de laboratorio, dado que la determinación del valor de las emisiones exige la realización de una compleja serie de mediciones particulares, más bien que la obtención de una sola medida. Por consiguiente, los resultados obtenidos dependen tanto del proceso de medición como del motor y del método de prueba.

5.1.4 En este capítulo se incluyen los métodos de ensayo y medición, el ensayo propiamente dicho y el informe correspondiente como procedimiento de medición en el banco de pruebas.

5.1.5 En principio, durante los ensayos de emisión, los motores llevarán todo el equipo auxiliar que llevarían a bordo.

5.1.6 Es posible que respecto de muchos tipos de motores a los que sea aplicable el Código no se conozca en el momento de su fabricación o certificación el tipo de equipo auxiliar que se instalará en el motor cuando entre en servicio. Ésa es la razón por la cual las emisiones se expresan en función de la potencia al freno, tal como se define ésta en [1.3.13](#).

5.1.7 Cuando no sea posible someter a ensayo el motor de acuerdo con las condiciones establecidas en 5.2.3, por ejemplo, cuando el motor y la transmisión constituyan una sola unidad integrada, sólo se podrá efectuar el ensayo del motor con equipo auxiliar instalado. En este caso, los reglajes del dinamómetro se determinarán de conformidad con 5.2.3 y 5.9. Las pérdidas debidas al equipo auxiliar no excederán del 5% de la potencia máxima observada. Cualquier pérdida superior al 5% deberá

ser aprobada por la Administración interesada con anterioridad a la prueba.

5.1.8 Todos los volúmenes y caudales volumétricos se medirán con relación a una temperatura de 273 K (0°C) y a una presión de 101,3 kPa.

5.1.9 Salvo cuando se especifique lo contrario, todos los resultados de las mediciones, datos del ensayo o cálculos prescritos en este capítulo se anotarán en el informe relativo al ensayo del motor de conformidad con 5.10.

5.2 Condiciones de ensayo

5.2.1 *Parámetro de las condiciones de ensayo y validez del ensayo para la homologación de la familia de motores*

El parámetro f_a se determinará de acuerdo con las siguientes disposiciones:

- 1 motores con aspiración natural y mecánicamente sobrealimentados:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \cdot \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,7} \quad (1)$$

- 2 motores con turbosoplante, con o sin refrigeración del aire de admisión:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0,7} \cdot \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1,5} \quad (2)$$

y, para que se reconozca la validez de un ensayo, el parámetro f_a será:

$$0,98 \leq f_a \leq 1,02 \quad (3)$$

5.2.2 *Motores con refrigeración del aire de carga*

5.2.2.1 Se anotará la temperatura del agente refrigerante y la del aire de carga. El sistema de refrigeración se regulará con el motor en marcha a la carga y velocidad de referencia. La temperatura del aire de carga y la caída de presión del refrigerante se regularán de manera que se ajusten a las especificaciones del fabricante, con un margen de ± 4 K y ± 2 kPa, respectivamente.

5.2.2.2 Todos los motores que estén equipados para su instalación a bordo deberán ser capaces de funcionar con los niveles de emisión de NO_x permitidos en [la regla 13 3\) del Anexo VI](#), a una temperatura ambiente del agua de mar de 25°C.*

5.2.3 *Potencia*

5.2.3.1 La base sobre la que se miden las emisiones específicas es la potencia al freno no corregida.

5.2.3.2 Para la realización del ensayo, se podrá retirar el equipo auxiliar que pueda haberse incorporado al motor y que no sea necesario para su funcionamiento. Véanse también 5.1.5 y 5.1.6.

5.2.3.3 En aquellos casos en que no se retire el equipo auxiliar no esencial, se determinará la potencia absorbida por dicho equipo a las velocidades de ensayo, para calcular la potencia al freno no corregida de conformidad con la fórmula (18). Véase asimismo 5.12.5.1.

5.2.4 *Sistema de admisión de aire del motor*

El motor de ensayo estará equipado con un sistema de admisión de aire que permita limitar la admisión de aire con arreglo a lo especificado por el fabricante, de manera que constituya un filtro de aire limpio en las condiciones de funcionamiento del motor, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y proporcione un flujo máximo de aire para la utilización de que se trate del motor.

5.2.5 *Sistema de gases de escape del motor*

El motor de ensayo estará equipado con un sistema de escape que proporcione la retropresión especificada por el fabricante en las condiciones de funcionamiento del motor, y que permita obtener la potencia máxima declarada para la utilización de que se trate del motor.

5.2.6 *Sistema de enfriamiento*

Se utilizará un sistema de enfriamiento del motor con suficiente capacidad para mantenerlo a la temperatura normal de funcionamiento prescrita por el fabricante.

* La temperatura ambiente de referencia para ajustarse a los límites de NO_x es una temperatura del agua de mar de 25°C. Se tendrá en cuenta el incremento de temperatura debido a la instalación a bordo de termostatos, por ejemplo para el sistema de enfriamiento a base de agua a baja temperatura.

5.2.7 *Aceite lubricante*

Se anotarán las especificaciones del aceite lubricante utilizado para el ensayo.

5.3 Combustibles de ensayo

5.3.1 Las características del combustible pueden afectar a las emisiones de gases de escape del motor. Por consiguiente, se determinarán y anotarán las características del combustible utilizado para el ensayo. Cuando se utilicen combustibles de referencia, se proveerán el código de referencia o las especificaciones así como el análisis del combustible.

5.3.2 La selección del combustible para el ensayo dependerá del objetivo del ensayo. A menos que la Administración decida lo contrario y cuando no se disponga de un combustible apropiado de referencia, se utilizará un combustible para usos marinos de tipo DM especificado en la norma ISO 8217, 1966, con propiedades adecuadas al tipo de motor de que se trate.

5.3.3 La temperatura del combustible será la que recomiende el fabricante. La temperatura del combustible se medirá en la entrada de la bomba de inyección del combustible o según especifique el fabricante, y se anotarán la temperatura medida y el punto donde se realice la medición.

5.4 Equipo de medición

5.4.1 La emisión de componentes gaseosos del motor sometido a ensayo se medirá mediante los analizadores cuyas especificaciones figuran en [el apéndice 3 del presente Código](#).

5.4.2 Podrán aceptarse otros sistemas o analizadores, a reserva de que la Administración los apruebe, si proporcionan resultados equivalentes a los del equipo referido en 5.4.1.

5.4.3 El presente Código no contiene datos sobre el equipo de medición del flujo, la presión y la temperatura, si bien en [1.3.1 del apéndice 4](#) se exponen los requisitos de precisión de dicho equipo para la realización de ensayos de emisión.

5.4.4 *Especificaciones del dinamómetro*

5.4.4.1 Se utilizará un dinamómetro para motores, cuyas características sean adecuadas para realizar el ciclo de ensayo apropiado descrito en [3.2](#).

5.4.4.2 Los instrumentos para medir el par y la velocidad permitirán medir la potencia en el eje para toda la gama de operaciones en el banco

de pruebas especificadas por el fabricante. De lo contrario, será preciso efectuar cálculos adicionales y consignar los resultados.

5.4.4.3 El equipo de medición será lo suficientemente preciso para que no exceda las tolerancias máximas indicadas en [1.3.1 del apéndice 4](#) del presente Código.

5.5 Determinación del flujo de gases de escape

Se determinará el flujo de los gases de escape por uno de los métodos especificados en 5.5.1, 5.5.2 ó 5.5.3.

5.5.1 Método de medición directa

Este método consiste en medir directamente el flujo de los gases de escape mediante una tobera medidora del caudal o un sistema de medición equivalente y será conforme con una norma internacional reconocida.

Nota: La medición directa del flujo de gases es una labor difícil. Conviene tomar precauciones para evitar errores de medición que puedan afectar a los valores de las emisiones.

5.5.2 Método de medición del aire y del combustible

5.5.2.1 El método para determinar el flujo de los gases de escape midiendo el aire y el combustible será conforme con una norma internacional reconocida.

5.5.2.2 Habrá que utilizar flujómetros de aire y de combustible cuya precisión se ajuste a lo definido en [1.3.1 del apéndice 4](#) del presente Código.

5.5.2.3 El flujo de los gases de escape se calculará de la manera siguiente:

$$.1 \quad G_{EXHW} = G_{AIRW} + G_{FUEL} \quad (\text{masa de gases de escape en húmedo}) \quad (4)$$

o

$$.2 \quad V_{EXHD} = V_{AIRD} + F_{FD} \cdot G_{FUEL} \quad (\text{volumen de gases de escape en seco}) \quad (5)$$

o

$$.3 \quad V_{EXHW} = V_{AIRW} + F_{FW} \cdot G_{FUEL} \quad (\text{masa de gases de escape en húmedo}) \quad (6)$$

Nota: Los valores de F_{FD} y F_{FW} varían con el tipo de combustible (véase [la tabla 1 del apéndice 6](#) del presente Código).

5.5.3 Método de equilibrado del carbono

Este método entraña calcular el flujo másico de los gases de escape a partir del consumo de combustible y de las concentraciones de gases de escape utilizando el método de equilibrado del oxígeno y el carbono, tal como se especifica en [el apéndice 6 del presente Código](#).

5.6 Diferencias admisibles de los instrumentos de medición de los parámetros del motor y otros parámetros esenciales

El calibrado de todos los instrumentos de medición será conforme con normas internacionales reconocidas y se ajustará a las prescripciones que figuran en [1.3.1 del apéndice 4](#) del presente Código.

5.7 Analizadores para la determinación de los componentes gaseosos

Los analizadores para determinar los componentes gaseosos se ajustarán a las especificaciones [del apéndice 3 del presente Código](#).

5.8 Calibrado de los instrumentos analíticos

Todo analizador utilizado para medir los parámetros de un motor, tal como se indica en [el apéndice 3 del presente Código](#), se calibrará con la frecuencia necesaria, tal como se indica en [el apéndice 4](#) del presente Código.

5.9 Ensayo

5.9.1 Generalidades

5.9.1.1 En 5.9.2 a 5.9.4 figuran descripciones detalladas de los sistemas de muestreo y análisis recomendados. Dado que pueden obtenerse resultados equivalentes con diversas configuraciones, no es necesario atenerse exactamente a las cifras indicadas. Podrán utilizarse elementos adicionales, tales como instrumentos, válvulas, solenoides, bombas y conmutadores para obtener información adicional y coordinar las funciones de los sistemas integrantes. Otros elementos que no sean necesarios para mantener la precisión de algunos sistemas podrán excluirse cuando su exclusión se base en un juicio técnico correcto.

5.9.1.2 El reglaje de la restricción de la admisión y de la contrapresión de escape se ajustarán a los valores máximos establecidos por el fabricante, de conformidad con lo indicado en 5.2.4 y 5.2.5 respectivamente.

5.9.2 *Principales componentes de los gases de escape que hay que analizar*

5.9.2.1 Todo sistema de análisis para determinar los gases (CO, CO₂, HC, NO_x, O₂) emitidos en los gases de escape brutos deberá basarse en el uso de los siguientes analizadores:

- .1 un DILC para la medición de hidrocarburos;
- .2 un analizador NDIR para la medición del monóxido de carbono y del dióxido de carbono;
- .3 un analizador HCLD o su equivalente para la medición de los óxidos de nitrógeno; y
- .4 equipo PMD, ECS o ZRDO para la medición del oxígeno.

5.9.2.2 La muestra que contenga todos los componentes de los gases de escape brutos se podrá tomar con una o dos sondas de muestreo que estén situadas a proximidad de los analizadores y tengan divisiones internas para canalizar los gases hacia los distintos analizadores. Deberá cuidarse que no se produzca condensación alguna de los componentes de los gases de escape (incluidos el agua y el ácido sulfúrico) en ningún punto del sistema de análisis.

5.9.2.3 Las especificaciones y el calibrado de estos analizadores serán conformes con lo indicado en [los apéndices 5 y 6 del presente Código](#).

5.9.3 *Muestreo de las emisiones gaseosas*

5.9.3.1 Las sondas de muestreo de las emisiones gaseosas se colocarán a una distancia igual a 0,5 m como mínimo, o tres veces el diámetro del tubo de escape, si este último valor es mayor, de la salida del sistema de gases de escape, en la medida de lo factible, aunque suficientemente cerca del motor para que la temperatura mínima de los gases de escape sea de 343 K (70°C) en la sonda.

5.9.3.2 En el caso de un motor policilíndrico con colector de escape ramificado, la entrada de la sonda estará situada a una distancia de las entradas del colector suficiente para que la muestra sea representativa del promedio de las emisiones de gases de escape de todos los cilindros. En motores policilíndricos con distintos grupos de colectores – tal como en los motores con cilindros en “V” – se aceptará la obtención de una muestra de cada grupo y el cálculo del promedio de las emisiones de escape. También podrán utilizarse otros métodos siempre que se haya demostrado su correlación con los métodos anteriores. Para el cálculo de las emisiones de gases de escape, será necesario utilizar el flujo másico total de los escapes.

5.9.3.3 Cuando la composición de los gases de escape resulte afectada por algún sistema de tratamiento de éstos, será necesario obtener la muestra de los gases de escape después de que éstos hayan pasado por dicho dispositivo.

5.9.4 *Comprobación de los analizadores*

Los analizadores de emisiones se pondrán en cero y se calibrarán.

5.9.5 *Ciclos de ensayo*

Todos los motores se someterán a ensayo de conformidad con los ciclos definidos en 3.2, teniéndose en cuenta los diferentes usos de los motores.

5.9.6 *Secuencia de ensayo*

5.9.6.1 La secuencia de ensayo se iniciará después de haber llevado a cabo los procedimientos indicados en 5.9.1 a 5.9.5. Se hará funcionar el motor en cada una de las modalidades, de conformidad con los ciclos de ensayo adecuados definidos en 3.2.

5.9.6.2 Durante cada modalidad del ciclo de ensayo, tras el periodo inicial de transición, se mantendrá la velocidad especificada en un $\pm 1\%$ de la velocidad de régimen o $\pm 3 \text{ min}^{-1}$, si este último valor es mayor, excepto para la marcha lenta, que corresponderá a las tolerancias establecidas por el fabricante. Se mantendrá el par específico de manera que la media durante el periodo en que se realizan las mediciones se sitúe en un $\pm 2\%$ del par máximo a la velocidad de prueba.

5.9.7 *Respuesta del analizador*

Los resultados indicados por los analizadores, tanto durante el ensayo como durante todas las verificaciones de respuesta (cero y calibrado), se consignarán en una gráfica de rollo o se medirán con un sistema equivalente de adquisición de datos, dejando que el gas de escape fluya por los analizadores al menos durante los últimos 10 minutos de cada modalidad.

5.9.8 *Régimen del motor*

La velocidad y la carga del motor, la temperatura del aire de admisión y el flujo del combustible se medirán en cada modalidad, una vez que se haya estabilizado el motor. Se medirá o calculará el flujo de los gases de escape y se consignará.

5.9.9 Nueva comprobación de los analizadores

Tras el ensayo de emisión, se comprobará de nuevo el calibrado de los analizadores con un gas cero y el mismo gas de calibrado utilizado con anterioridad a las mediciones. El ensayo se considerará aceptable cuando la diferencia entre los resultados de los dos calibrados sea inferior al 2%.

5.10 Informe relativo al ensayo

5.10.1 Para cada motor que se someta a ensayo de certificación previa o para su certificación inicial a bordo sin certificación previa, el fabricante del motor preparará un informe relativo al ensayo en el que figurarán como mínimo los datos que se indican en el [apéndice 5](#) del presente Código. El fabricante del motor conservará el informe original relativo al ensayo y la Administración conservará una copia certificada del mismo.

5.10.2 El informe relativo al ensayo, ya sea el original o una copia certificada, se adjuntará como parte permanente del expediente técnico del motor.

5.11 Evaluación de los datos relativos a las emisiones gaseosas

Para la evaluación de las emisiones gaseosas, se calculará el promedio de las lecturas de los últimos 60 segundos de cada modalidad, y las concentraciones medias (conc) de CO, CO₂, HC, NO_x y O₂ durante cada modalidad se determinarán a partir de las lecturas medias de la gráfica y de los datos de calibrado correspondientes.

5.12 Cálculo de las emisiones gaseosas

Los resultados definitivos que se han de consignar en el informe relativo al ensayo se determinarán siguiendo las pautas indicadas en 5.12.1 a 5.12.4.

5.12.1 Cálculo del flujo de los gases de escape

Se determinará el caudal de los gases de escape (G_{EXHW} , V_{EXHW} , o V_{EXHD}) para cada modalidad, de conformidad con uno de los métodos descritos en 5.5.1 a 5.5.3.

5.12.2 Corrección de la concentración en seco a la concentración en húmedo

Al aplicar G_{EXHW} o V_{EXHW} , la concentración medida, si no se ha medido ya en húmedo, se convertirá a la concentración en húmedo, de acuerdo con las fórmulas siguientes.

$$\text{conc (en húmedo)} = K_W \cdot \text{conc (en seco)} \quad (7)$$

5.12.2.1 Para los gases de escape brutos:

$$K_{W,r} = \left(1 - F_{FH} \cdot \frac{G_{FUEL}}{G_{AIRD}} \right) - K_{W2} \quad (8)$$

$$K_{W2} = \frac{1,608 \cdot H_a}{1000 + (1,608 \cdot H_a)} \quad (9)$$

$$H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_B - p_a \cdot R_a \cdot 10^{-2}} \quad (10)$$

con:

H_a = g de agua por kg de aire seco

R_a = humedad relativa del aire de admisión, en porcentaje

p_a = saturación de la presión del vapor del aire de admisión, en kPa

p_B = presión barométrica total, en kPa

Nota: Las fórmulas en las que se utiliza el factor F_{FH} son versiones simplificadas de las fórmulas que se indican en [la sección 3.7 del apéndice 6](#) del presente Código (fórmulas (2-44) y (2-45)), cuya aplicación da resultados comparables a los de las fórmulas completas.

5.12.2.2 De otro modo:

$$K_{W,r} = \frac{1}{1 + H_{TCRAT} \cdot 0,005 \cdot (\%CO \text{ (seco)} + \%CO_2 \text{ (seco)})} - K_{W2} \quad (11)$$

5.12.2.3 Para el aire de admisión:

$$K_{W,a} = 1 - K_{W2} \quad (12)$$

5.12.2.4 La fórmula (8) se aceptará como definición del factor específico F_{FH} del combustible. Así definido, F_{FH} es el valor del contenido de agua de los gases de escape en función de la relación combustible-aire.

5.12.2.5 En [la tabla 1 del apéndice 6](#) del presente Código aparece una lista de los valores típicos F_{FH} para distintos combustibles. El factor F_{FH} no depende exclusivamente de las especificaciones del combustible sino también, aunque en menor grado, de la relación combustible-aire del motor.

5.12.2.6 [La sección 3.9 del apéndice 6](#) del presente Código contiene fórmulas para el cálculo de F_{FH} a partir del contenido de hidrógeno del combustible y de la relación combustible-aire.

5.12.2.7 En la fórmula (8) se supone que el agua de la combustión y el agua del aire de admisión son independientes y se añaden. La fórmula (2-45) de la sección 3.7 del apéndice 6 del presente Código indica que los dos componentes agua no se añaden. La fórmula (2-45) es la versión correcta, pero dada su complejidad se utilizarán las fórmulas más prácticas (8) y (11).

5.12.3 *Corrección de los NO_x teniendo en cuenta la humedad y la temperatura*

5.12.3.1 Dado que las emisiones de NO_x dependen de las condiciones del aire ambiente, se corregirá la concentración de NO_x, a fin de tener en cuenta la temperatura y la humedad del aire ambiente, multiplicándola por los factores dados en las fórmulas (13) y (14).

5.12.3.2 El valor normal de 10,71 g/kg a la temperatura de referencia normal de 25°C se utilizará en todos los cálculos del presente Código que entrañen corrección por humedad. No se utilizarán valores de referencia para la humedad distintos de 10,71 g/kg

5.12.3.3 Podrán utilizarse otras fórmulas de corrección cuando sea posible justificarlas o validarlas con el acuerdo de las partes interesadas y si reciben la aprobación de la Administración.

5.12.3.4 El agua o vapor inyectado en el cargador de aire (humidificación del aire) se considera como una medida de control de las emisiones y, por consiguiente, no se tendrá en cuenta para la corrección de la humedad. El agua que se condensa en el enfriador de la carga puede influir en la humedad del aire de carga y, por lo tanto, se tendrá en cuenta para la corrección de la humedad.

5.12.3.5 Motores diesel en general

Para los motores diesel en general, K_{HDIES} se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$K_{\text{HDIES}} = \frac{1}{1 + A \cdot (H_a - 10,71) + B \cdot (T_a - 298)} \quad (13)$$

donde:

$$A = 0,309 G_{\text{FUEL}} / G_{\text{AIRD}} - 0,0266$$

$$B = -0,209 G_{\text{FUEL}} / G_{\text{AIRD}} - 0,00954$$

T_a = temperatura del aire en K

H_a = humedad del aire de admisión, g de agua por kg de aire seco (según se determine mediante la fórmula (10))

5.12.3.6 Motores diesel con enfriadores de aire intermedios

Para los motores diesel con enfriadores de aire intermedios, se utilizará la otra fórmula (14) siguiente:

$$K_{\text{HDIES}} = \frac{1}{1 - 0,012 \cdot (H_a - 10,71) - 0,00275 \cdot (T_a - 298) + 0,00285 \cdot (T_{\text{SC}} - T_{\text{SC Ref}})} \quad (14)$$

donde:

T_{SC} = temperatura del aire interenfriado

$T_{\text{SC Ref}}$ = temperatura de referencia del aire interenfriado correspondiente a una temperatura del agua del mar de 25°C. La $T_{\text{SC Ref}}$ será especificada por el fabricante.

- .1 con objeto de tener en cuenta la humedad del aire de carga, se añade el factor siguiente:

H_{sc} = humedad del aire de carga, g de agua por kg de aire seco, donde:

$$H_{\text{sc}} = 6,220 \cdot P_{\text{sc}} \cdot 100 / (P_C - P_{\text{sc}})$$

donde:

P_{sc} = presión del vapor de saturación del aire de carga, kPa

P_C = presión del aire de carga, kPa

- .2 si $H_a \geq H_{\text{sc}}$ se utilizará H_{sc} en lugar de H_a en la fórmula (14). En tal caso, G_{EXHW} se corregirá en 5.5.2.3 de la manera siguiente:

$$G_{\text{EXHW corregido}} = G_{\text{EXHW (5.5.2.3)}} \cdot (1 - (H_a - H_{\text{sc}})/1000)$$

- .3 si $H_a < H_{\text{sc}}$, H_a se utilizará tal cual en la fórmula (14).

Nota: Para la explicación de las otras variables, véase la fórmula (13).

5.12.4 Cálculo de los caudales máxicos de emisión

5.12.4.1 Los caudales máxicos de emisión para cada modalidad se calcularán de la manera siguiente (para los gases de escape brutos):

$$\text{masa del gas} = u \cdot \text{conc} \cdot G_{\text{EXHW}} \quad (15)$$

o

$$\text{masa del gas} = v \cdot \text{conc} \cdot V_{\text{EXHD}} \quad (16)$$

o

$$\text{masa del gas} = w \cdot \text{conc} \cdot G_{\text{EXHW}} \quad (17)$$

5.12.4.2 Los coeficientes u -húmedo, v -seco, w -húmedo se utilizarán según lo indicado en la tabla 5.

Tabla 5 – Coeficientes u , v , w

Gas	u	v	w	conc
NO _x	0,001587	0,002053	0,002053	ppm
CO	0,000966	0,00125	0,00125	ppm
HC	0,000479	–	0,000619	ppm
CO ₂	15,19	19,64	19,64	porcentaje
O ₂	11,05	14,29	14,29	porcentaje

Nota: Los coeficientes de u en la tabla 5 son valores correctos para una densidad de los gases de escape de 1,293 solamente; para densidades de escape distintas de 1,293, $u = w/\text{densidad}$.

5.12.5 Cálculo de las emisiones específicas

5.12.5.1 La emisión se calculará para cada uno de los componentes, de la manera siguiente:

$$\text{GAS}_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} M_{\text{GAS}_i} \cdot W_{F_i}}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \cdot W_{F_i}} \quad (18)$$

donde:

$$P_i = P_{M,i} + P_{\text{AUX},i}$$

5.12.5.2 Los factores de ponderación y el número de modalidades (n) utilizados en los cálculos anteriores son conformes con las disposiciones de [3.2](#).

5.12.5.3 El valor resultante de la emisión media ponderada de NO_x del motor, calculado según la fórmula (18) se comparará con [la figura 1 de 3.1](#) para determinar si el motor cumple lo dispuesto en [la regla 13 del Anexo VI](#).

Capítulo 6

Procedimientos para demostrar el cumplimiento de los límites de emisión de NO_x a bordo

6.1 Generalidades

Después de la instalación de un motor que tenga certificación previa a bordo de un buque, el motor diesel marino será objeto de reconocimientos de verificación a bordo, tal como se establece en los párrafos 2.1.1.2 al 2.1.1.4, para comprobar que sigue ajustándose a los límites de emisión de NO_x especificados en la regla 13 del Anexo VI. Dicha verificación del cumplimiento se realizará por uno de los siguientes métodos:

- .1 método de verificación de los parámetros del motor de conformidad con 6.2 para confirmar que los componentes, reglajes y valores de funcionamiento de un motor no se han apartado de las especificaciones del expediente técnico de dicho motor;
- .2 método de medición simplificado según lo dispuesto en el párrafo 6.3; o
- .3 el método directo de medición y vigilancia de conformidad con 2.3.4, 2.3.5, 2.3.7, 2.3.8, 2.3.11, 2.4.4 y 5.5.

6.2 Método de verificación de los parámetros del motor

6.2.1 Generalidades

6.2.1.1 El método de verificación de los parámetros del motor se podrá aplicar a:

- .1 los motores que hayan recibido un certificado previo (EIAPP) en el banco de pruebas y aquellos que hayan recibido un certificado (IAPP) tras la realización de un reconocimiento de certificación inicial; y
- .2 los motores cuyos elementos especificados o características regulables se hayan modificado o ajustado desde que se realizó el último reconocimiento.

6.2.1.2 El método de verificación de los parámetros del motor se aplicará a los motores, a reserva de lo dispuesto en 6.2.1.1, cuando se cambien elementos o características regulables del motor que afecten a los niveles de emisión de NO_x. Este método se utilizará para confirmar

el cumplimiento de los límites de emisión de NO_x. Los motores instalados en los buques estarán proyectados de manera que resulte fácil comprobar los elementos, las características regulables y los parámetros del mismo que afectan a los niveles de emisión de NO_x.

6.2.1.3 Además, cuando un motor diesel se ha proyectado de manera que funcione dentro de los límites prescritos de emisión de NO_x, es muy probable que se ajuste a dichos límites durante toda su vida útil. No obstante, es posible que, a consecuencia de ajustes o modificaciones del motor, éste no se ajuste a los límites prescritos de emisión de NO_x. Por consiguiente, el método de verificación de los parámetros del motor se usará para comprobar si el motor sigue funcionando dentro de los límites prescritos de emisión de NO_x.

6.2.1.4 Las verificaciones de los elementos del motor, incluidas las verificaciones de los reglajes y de los valores de funcionamiento del motor, están encaminadas a ofrecer un medio fácil de deducción del nivel de las emisiones del motor para confirmar que un motor que no ha sido objeto de ajustes o modificaciones, o que ha sido objeto de ajustes o modificaciones de escasa importancia, cumple los límites aplicables de emisión de NO_x.

6.2.1.5 El objetivo de dichas verificaciones es ofrecer un medio fácil para determinar que el motor está correctamente regulado, de conformidad con las especificaciones del fabricante, y que su reglaje sigue siendo conforme con la certificación inicial de la Administración de que cumple lo precrito en [la regla 13 del Anexo VI](#).

6.2.1.6 Si se utiliza un sistema electrónico de regulación del motor, éste se evaluará en función de los reglajes originales para cerciorarse de que los parámetros pertinentes siguen funcionando de acuerdo con los límites de fábrica.

6.2.1.7 Con objeto de evaluar el cumplimiento de la regla 13 del Anexo VI, no siempre es necesario medir el nivel de NO_x para determinar si es probable que un motor no equipado con un dispositivo de tratamiento se ajuste a los límites de emisión de NO_x. Puede bastar con saber que el estado actual del motor corresponde con el estado especificado en el momento de la certificación inicial en lo que respecta a los elementos, la calibración o el ajuste de los parámetros. Si los resultados de la verificación de los parámetros del motor indican que es probable que éste se ajuste a los límites de emisión de NO_x, se podrá volver a certificar el motor sin medir directamente el NO_x.

6.2.1.8 En el caso de los motores equipados con dispositivos de tratamiento, será necesario verificar el funcionamiento de dicho dispositivo como parte de la verificación de los parámetros.

6.2.2 Procedimientos de verificación de los parámetros del motor

6.2.2.1 La verificación de los parámetros del motor se hará siguiendo los dos procedimientos descritos a continuación:

- .1 además de las otras inspecciones, se efectuará una inspección de la documentación relativa a los parámetros del motor, que consistirá en examinar los registros de los parámetros del motor y verificar que dichos parámetros se ajustan a los límites admisibles especificados en el expediente técnico del motor; y
- .2 además de la inspección, según sea necesario, de la documentación, se efectuará una inspección propiamente dicha de los elementos del motor y de sus características regulables. A continuación, teniendo en cuenta los resultados de la inspección de la documentación, se verificará que las características regulables del motor se ajustan a los límites admisibles especificados en el expediente técnico del motor.

6.2.2.2 El inspector podrá comprobar uno o todos los elementos especificados, reglajes o valores de funcionamiento a fin de cerciorarse de que el motor, haya sido o no objeto de modificaciones de escasa importancia, se ajusta a los límites de emisión aplicables y que sólo se utilizan elementos que corresponden a las especificaciones vigentes. Cuando en el expediente técnico se mencionen ajustes o modificaciones de una especificación, éstos se ajustarán a los límites recomendados por el fabricante y aprobados por la Administración.

6.2.3 Documentación para la verificación de los parámetros del motor

6.2.3.1 Todo motor diesel marino tendrá un expediente técnico, como se exige en 2.3.6, en el que se indiquen los elementos, reglajes o valores de funcionamiento del mismo que afectan a las emisiones de gases de escape, y éste deberá verificarse para cerciorarse de su cumplimiento.

6.2.3.2 Los propietarios o las personas responsables de los buques equipados con motores diesel que tengan que ser objeto de una verificación de los parámetros del motor mantendrán a bordo la documentación siguiente relativa a los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo:

- .1 un registro de los parámetros del motor para consignar todos los cambios que se hagan de los elementos y reglajes del motor;

- .2 una lista de los parámetros del motor en la que figuren los elementos y reglajes especificados o la documentación sobre los valores de funcionamiento del motor que dependen de la carga, suministrada por el fabricante y aprobada por la Administración; y
- .3 documentación técnica relativa a la modificación de un elemento del motor cuando tal modificación afecte a cualquiera de los elementos especificados del motor.

6.2.3.3 Registro de los parámetros del motor

Las descripciones de todos los cambios que afecten a los parámetros especificados del motor, incluidos los ajustes, la sustitución y las modificaciones de las piezas del motor, se consignarán por orden cronológico en un registro de los parámetros del motor. Estas descripciones se complementarán con otros datos pertinentes utilizados para evaluar los niveles de NO_x del motor.

6.2.3.4 Lista de parámetros modificados a bordo que inciden en las emisiones de NO_x

6.2.3.4.1 Según el proyecto específico de un motor determinado, es posible hacer, y suelen hacerse, distintos ajustes y modificaciones que afectan a las emisiones de NO_x. Éstos se refieren a los siguientes parámetros del motor:

- .1 regulación del avance de la inyección,
- .2 tobera de inyección,
- .3 bomba de inyección,
- .4 leva del combustible,
- .5 presión de inyección para sistemas comunes de inyección mecánica del combustible,
- .6 cámara de combustión;
- .7 relación de compresión,
- .8 construcción y tipo de la turbosoplante,
- .9 enfriador del aire de carga, precalentador del aire de carga,
- .10 regulación de las válvulas,
- .11 equipo reductor de NO_x de inyección de agua,
- .12 equipo reductor de NO_x de combustible emulsionado (emulsión combustible y agua)
- .13 equipo reductor de NO_x de recirculación de los gases de escape,
- .14 equipo reductor de NO_x de reducción catalítica selectiva, u
- .15 otros parámetros especificados por la Administración.

6.2.3.4.2 El expediente técnico, propiamente dicho, del motor podrá incluir, con arreglo a las recomendaciones del fabricante y con la aprobación de la Administración, un número menor de elementos o parámetros que los referidos anteriormente, según el motor de que se trate y su proyecto específico.

6.2.3.5 Lista de verificaciones de los parámetros del motor

Para ciertos parámetros existen distintas maneras de realizar el reconocimiento. Con la aprobación de la Administración, el armador, respaldado por el fabricante del motor, podrá elegir el método que hay que aplicar. Cualquiera de los métodos que figuran en el [apéndice 7](#) del presente Código, o una combinación de éstos, podrán utilizarse para demostrar el cumplimiento.

6.2.3.6 Documentación técnica de la modificación de elementos del motor

La documentación técnica que debe ir en el expediente técnico del motor incluirá los pormenores de las modificaciones y su influencia en las emisiones de NO_x y ésta se facilitará en el momento en que se lleven a cabo dichas modificaciones. Los datos obtenidos en el banco de pruebas para un motor más reciente que se encuentre dentro del ámbito del concepto de grupo de motores serán aceptables.

6.2.3.7 Estado inicial de los elementos, las características regulables y los parámetros del motor

El expediente técnico del motor contendrá toda la información aplicable relativa al nivel de emisiones de NO_x, los elementos especificados del motor, las características regulables y los parámetros del motor en el momento de llevarse a cabo la certificación previa (Certificado EIAPP) o la certificación inicial (Certificado IAPP) si ésta se realizó primero.

6.3 Método de medición simplificado

6.3.1 Generalidades

6.3.1.1 El procedimiento simplificado de ensayo y medición expuesto en esta sección se aplicará solamente para los ensayos de confirmación a bordo y para los reconocimientos intermedios y periódicos si procede. Todo ensayo inicial de un motor en un banco de pruebas se realizará de conformidad con el procedimiento especificado en el [capítulo 5](#), utilizando combustible diesel marino de clase DM. Las correcciones en función de la temperatura y la humedad del aire ambiente, conforme a lo dispuesto en [5.12.3](#), son esenciales ya que los buques navegan en

climas fríos o cálidos y secos o húmedos, lo que puede causar una diferencia en las emisiones de NO_x .

6.3.1.2 A fin de obtener resultados significativos en los ensayos de confirmación realizados a bordo y en los reconocimientos periódicos e intermedios, se medirán, como mínimo, las concentraciones de las emisiones gaseosas de NO_x , así como de O_2 o de CO_2 y CO , de conformidad con el ciclo de ensayo apropiado. Los factores de ponderación (W_F) y el número de modalidades (n) utilizados en los cálculos se determinarán según lo indicado en 3.2.

6.3.1.3 Se medirán el par y velocidad del motor, pero, para simplificar el procedimiento, las desviaciones admisibles de los instrumentos (véase 6.3.7) utilizados para medir los parámetros relacionados con el motor durante la verificación a bordo son distintas de las desviaciones admisibles para el ensayo en el banco de pruebas. Cuando la medición directa del par resulte difícil, podrá estimarse la potencia al freno por otros medios recomendados por el fabricante del motor y aprobados por la Administración.

6.3.1.4 En la práctica, resulta a menudo imposible medir el consumo de combustible una vez que el motor ha sido instalado a bordo. Para simplificar el procedimiento a bordo, se podrán aceptar los resultados de la medición del consumo de combustible realizadas para la certificación previa en el banco de pruebas. En tales casos, particularmente por cuanto respecta al funcionamiento con combustible pesado, se efectuará un cálculo teniendo en cuenta el error estimado correspondiente. Dado que el caudal del combustible líquido utilizado para el cálculo (G_{FUEL}) debe estar relacionado con la composición del combustible líquido determinada a partir de las muestras de combustible tomadas durante el ensayo, la medición del G_{FUEL} en el banco de pruebas se corregirá para compensar cualquier diferencia entre los valores caloríficos netos del combustible utilizado en el banco de pruebas y del combustible utilizado en el ensayo. Las consecuencias de tal error sobre las emisiones finales se calcularán y se consignarán con los resultados de la medición de las emisiones.

6.3.1.5 Salvo que se especifique lo contrario, todos los resultados de las mediciones, datos de ensayo o cálculos prescritos en el presente capítulo se consignarán en el informe relativo al ensayo del motor conforme a lo dispuesto en 5.10.

6.3.2 *Parámetros del motor que se han de medir y registrar*

En la tabla 6 figuran los parámetros de motor que se han de medir y registrar durante los procedimientos de verificación a bordo.

Tabla 6 – Parámetros del motor que se han de medir y registrar

Símbolo	Parámetro	Unidad
$b_{x,i}$	Consumo específico de combustible (si es posible) (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	kg/kW h
H_a	Humedad absoluta (masa del contenido de agua en el aire de admisión del motor en relación con la masa de aire seco)	g/kg
$n_{d,i}$	Velocidad del motor (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	min ⁻¹
$n_{\text{turb},i}$	Velocidad de la turbosoplante (si procede) (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	min ⁻¹
p_B	Presión barométrica total (en ISO 3046-1, 1995: $p_x = P_x =$ presión ambiente total en el local)	kPa
$p_{be,i}$	Presión del aire después del enfriador del aire de carga (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	kPa
P_i	Potencia al freno (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	kW
s_i	Posición del mando de alimentación de combustible (de cada cilindro, si procede) (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	
T_a	Temperatura en la entrada de aire (en ISO 3046-1, 1995: $T_x = TT_x =$ temperatura termodinámica ambiente del aire en el local)	K
$T_{ba,i}$	Temperatura del aire después del enfriador del aire de carga (si procede) (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	K
T_{clin}	Temperatura del refrigerante en la entrada	K
T_{clout}	Temperatura del refrigerante en la salida	K
$T_{\text{Exh},i}$	Temperatura de los gases de escape en el punto de muestreo (en la <i>i</i> ésima modalidad durante el ciclo)	K
T_{Fuel}	Temperatura del fueloil antes del motor	K
T_{Sea}	Temperatura del agua del mar	K
$T_{\text{oil out/in}}$	Temperatura del aceite lubricante en la entrada y en la salida	K

6.3.3 *Potencia al freno*

6.3.3.1 Lo que interesa para obtener la información requerida durante las pruebas de NO_x a bordo es la potencia al freno. Si bien en el [capítulo 5](#) se examinan las cajas de engranaje con acoplamiento directo, en numerosos tipos de utilización, los motores, tal como están a bordo, pueden estar dispuestos de tal manera que la medición del par (obtenida mediante un extensímetro especialmente instalado) resulte imposible al faltar un eje libre. Tal es el caso, en particular, del grupo de los generadores, pero también se acoplan los motores a bombas, unidades hidráulicas, compresores, etc.

6.3.3.2 Por regla general, los motores que accionan dicha maquinaria se habrán sometido a ensayo con un freno hidráulico en la fase de fabricación, antes de conectarlos permanentemente a la unidad de consumo de potencia al instalarlos a bordo. En el caso de los generadores, el uso de mediciones de tensión y amperaje junto con el rendimiento del generador declarado por el fabricante no debería presentar ningún problema. En el caso de equipo adaptado a la demanda de la hélice, podrá utilizarse una curva dada de potencia-velocidad, al mismo tiempo que se garantiza la posibilidad de medir la velocidad del motor, bien desde el extremo libre o en relación, por ejemplo, con la velocidad del árbol de levas.

6.3.4 *Combustibles de ensayo*

6.3.4.1 En general, toda medición de las emisiones se efectuará mientras el motor funciona con fueloil diesel marino de clase DM, norma ISO 8217 de 1996.

6.3.4.2 Con objeto de evitar una carga inaceptable para el propietario del buque, podrá permitirse la realización de las mediciones, tratándose de ensayos de confirmación o de nuevos reconocimientos, haciendo funcionar el motor con fueloil pesado de clase RM, norma ISO 8217 de 1996, teniendo en cuenta las indicaciones del fabricante y con la aprobación de la Administración. En tal caso, el nitrógeno del combustible y la calidad de encendido de este último podrán influir en las emisiones de NO_x del motor.

6.3.5 *Muestreo de las emisiones gaseosas*

6.3.5.1 Las precripciones generales que se indican en [5.9.3](#) se aplicarán también a las mediciones a bordo.

6.3.5.2 La instalación a bordo de todos los motores se hará de manera que estos ensayos puedan efectuarse con seguridad e interviniendo lo menos posible en el motor. Se tomarán a bordo medidas adecuadas para

el muestreo de los gases de escape y para la obtención de la información requerida. Los conductos de escape de todos los motores dispondrán de un punto de muestreo estándar accesible.

6.3.6 *Equipo de medición y datos que se han de medir*

La emisión de contaminantes gaseosos se medirá por los métodos descritos en [el capítulo 5](#).

6.3.7 *Desviación admisible de los instrumentos para los parámetros relacionados con el motor y otros parámetros esenciales*

En [las tablas 3 y 4 del párrafo 1.3.2 del apéndice 4](#) del presente Código se indican las desviaciones admisibles de los instrumentos que se han de utilizar para medir los parámetros relacionados con el motor y otros parámetros esenciales durante los procedimientos de verificación a bordo.

6.3.8 *Determinación de los componentes gaseosos*

Se utilizará el equipo de medición y análisis y los métodos que se describen en [el capítulo 5](#).

6.3.9 *Ciclos de ensayo*

6.3.9.1 Los ciclos de ensayo a bordo serán conformes con los ciclos de ensayo aplicables especificados en [3.2](#).

6.3.9.2 Aun cuando no siempre resulta posible hacer funcionar el motor a bordo de conformidad con el ciclo de ensayo especificado en [3.2](#), el procedimiento de ensayo será lo más parecido posible al definido en dicho párrafo, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante del motor y con la aprobación de la Administración. Por consiguiente, es posible que los valores medidos en este caso no sean directamente comparables con los resultados del banco de pruebas, debido a que los valores medidos dependen estrechamente de los ciclos de ensayo.

6.3.9.3 Si hay una diferencia entre el número de puntos de medición a bordo y en el banco de pruebas, los puntos de medición y los coeficientes de ponderación serán conformes con las recomendaciones del fabricante y deberán estar aprobados por la Administración.

6.3.10 *Cálculo de las emisiones gaseosas*

Se aplicará el procedimiento de cálculo especificado en [el capítulo 5](#), teniendo en cuenta los requisitos especiales de este procedimiento simplificado de medición.

6.3.11 *Márgenes*

6.3.11.1 Debido a las posibles diferencias resultantes de la aplicación del procedimiento simplificado de medición a bordo, se podrá aceptar un margen del 10% del valor límite aplicable, pero exclusivamente para los ensayos de confirmación y los reconocimientos intermedios y periódicos.

6.3.11.2 Las emisiones de NO_x de un motor pueden variar según las características de encendido del combustible y su contenido de nitrógeno. Si la información disponible sobre la influencia de las características de encendido en la formación de NO_x durante el proceso de combustión es insuficiente y el índice de conversión del contenido de nitrógeno del combustible depende también del rendimiento del motor, podrá concederse un margen del 10% para las pruebas realizadas a bordo con fueloil de clase RM (norma ISO 8217 de 1996), pero no se concederá ningún margen para la prueba a bordo previa a la certificación. Se analizará el fueloil utilizado a fin de determinar su contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, y, en la medida estipulada en la norma ISO 8217 de 1996, de cualquier otro componente que sea necesario para una especificación clara del combustible.

6.3.11.3 El margen total concedido para la simplificación de las mediciones a bordo y para el uso de fueloil pesado de clase RM, norma ISO 8217 de 1996, no excederá en ningún caso el 15% del valor límite aplicable.

Apéndice 1

Modelo de Certificado EIAPP

(Véase 2.2.9 del Código Técnico sobre los NO_x)

CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA MOTORES

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 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	Ciclos de ensayo	Potencia (kW) y velocidad (RPM) de régimen	Número de homologación del motor

SE CERTIFICA:

1. que el motor diesel 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 diesel marinos, 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, incluidos sus elementos, características regulables y expediente técnico, cumple 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)

.....20.....
(fecha de expedición) (firma del funcionario debidamente autorizado)

(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

Conforme a lo dispuesto en el Anexo VI del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por los Protocolos de 1978 y de 1997 (en adelante llamado "el Convenio"), y en el Código técnico relativo a las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diesel marinos (en adelante llamado el "Código Técnico sobre los NO_x").

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 Cuando el idioma utilizado en el cuadernillo original no sea ni el francés ni el inglés, se incluirá en el texto una traducción a uno de estos idiomas.
- 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_x.

1 Pormenores del motor

- 1.1 Nombre y señas 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 Ciclos de ensayo (véase el capítulo 3 del Código Técnico sobre los NO_x)
- 1.10 Potencia (kW) y velocidad (RPM) de régimen.....
- 1.11 Número de homologación del motor
- 1.12 Especificaciones del combustible de ensayo
- 1.13 Número de homologación especificado del dispositivo reductor de NO_x (si está instalado)
- 1.14 Límite aplicable de emisión de NO_x (g/kWh) (regla 13 del Anexo VI).....
- 1.15 Valor real de emisión de NO_x del motor (g/kWh)

2 Pormenores del expediente técnico

- 2.1 Número de identificación o aprobación del expediente técnico
- 2.2 Fecha de aprobación del expediente técnico.....
- 2.3 El expediente técnico, prescrito en el capítulo 2 del Código Técnico sobre los NO_x, 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.

3 Especificaciones relativas a los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo para el reconocimiento de los parámetros del motor

- 3.1 Número de identificación o aprobación de los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo
- 3.2 Fecha de aprobación de los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo

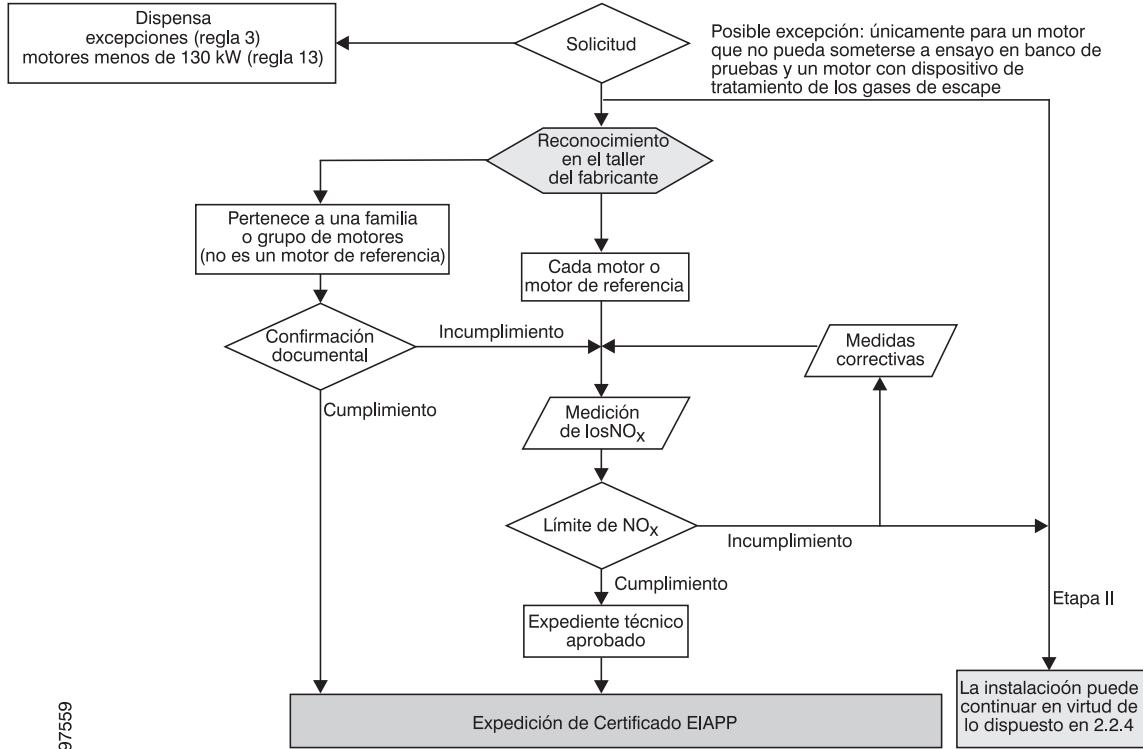
Apéndice 2

Diagramas de operaciones para el reconocimiento y la certificación de motores diesel marinos

(Véanse 2.2.8 y 2.3.13 del Código Técnico sobre los NO_x)

En los diagramas de las tres páginas siguientes figuran las orientaciones para el cumplimiento de las prescripciones relativas al reconocimiento y la certificación de motores diesel marinos, estipuladas en el capítulo 2 del presente Código, según se indica a continuación:

- Figura 1. Diagrama de operaciones, etapa 1 – Reconocimiento de certificación previa en el taller del fabricante
- Figura 2. Diagrama de operaciones, etapa 2 – Reconocimiento inicial a bordo del buque
- Figura 3. Diagrama de operaciones, etapa 3 – Reconocimiento periódico a bordo del buque



97559

Figura 1 – Diagrama de operaciones, etapa 1 – Reconocimiento de certificación previa en el taller del fabricante

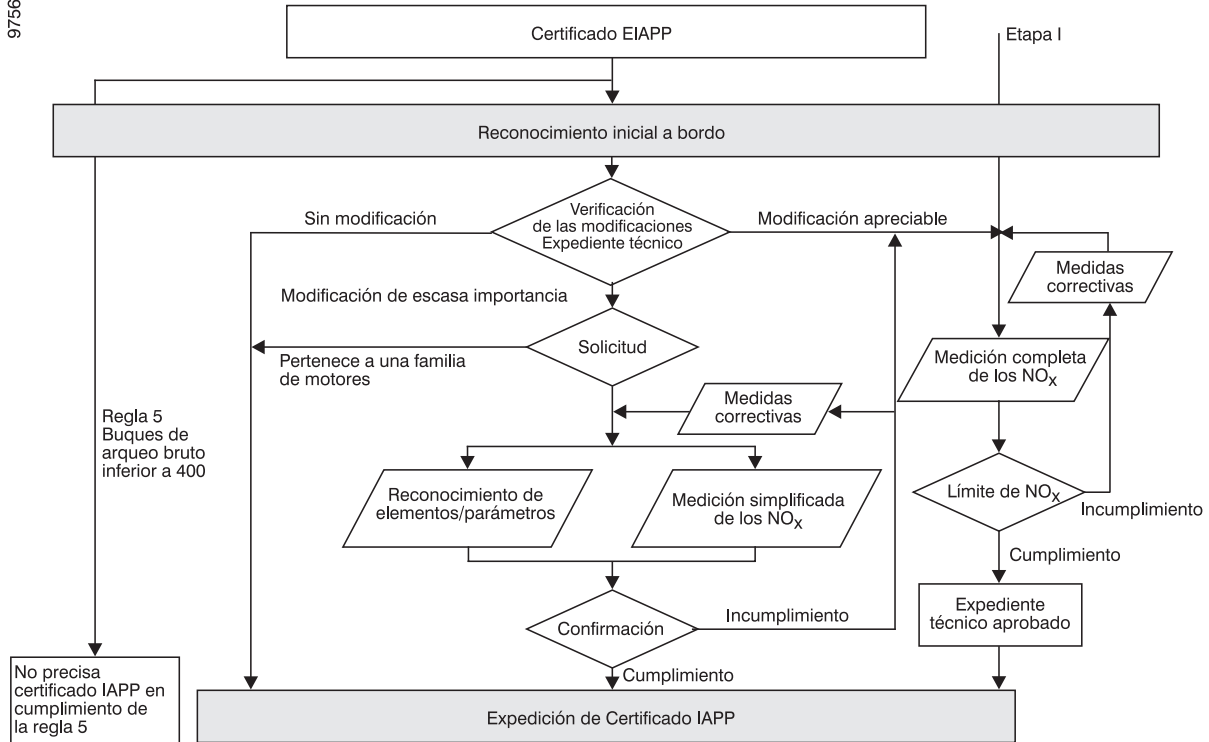


Figura 2 – Diagrama de operaciones, etapa 2 – Reconocimiento inicial a bordo del buque

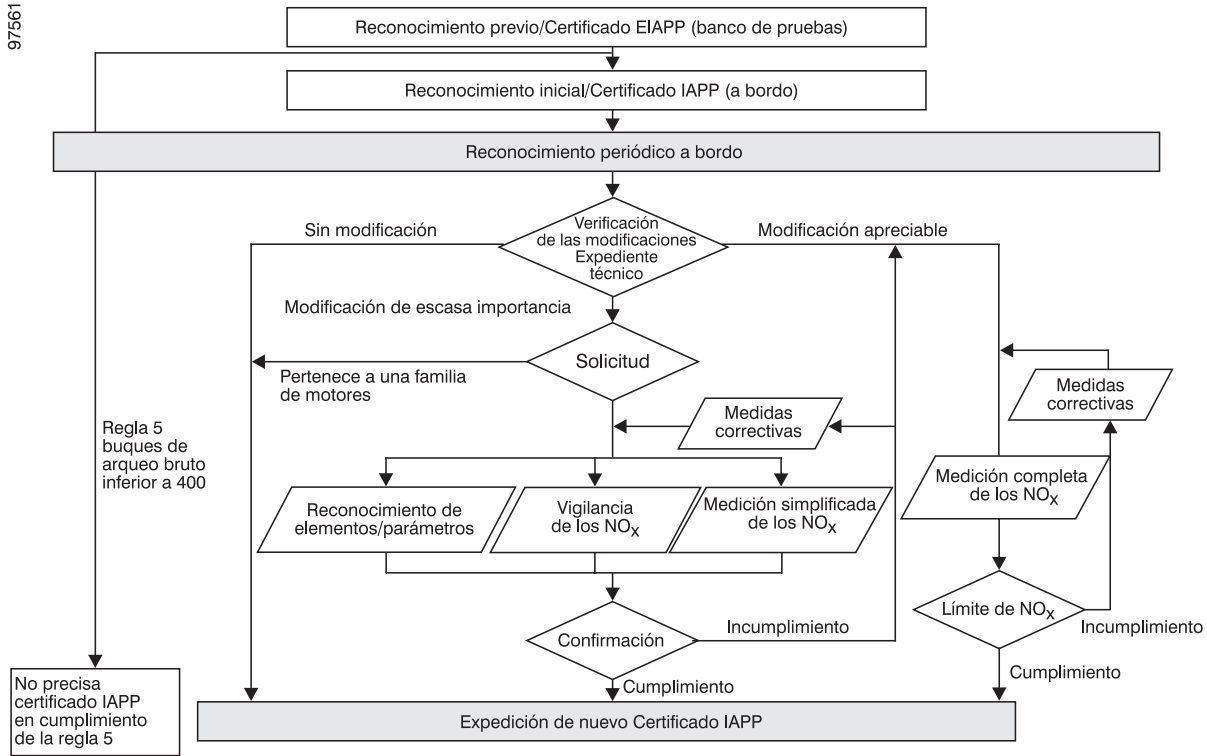


Figura 3 – Diagrama de operaciones, etapa 3 – Reconocimiento periódico a bordo del buque

Apéndice 3

Especificaciones relativas a los analizadores que se utilicen para determinar los componentes gaseosos de las emisiones de los motores diesel marinos

(Véase el capítulo 5 del Código Técnico sobre los NO_x)

1 Generalidades

1.1 Los analizadores tendrán un intervalo de medición adecuado para medir con la precisión requerida las concentraciones de los componentes de los gases de escape (véase 1.5). Todos los analizadores serán capaces de medir continuamente el caudal de gas y de dar una lectura que pueda registrarse. Se recomienda que los analizadores se hagan funcionar de manera que las concentraciones medidas se encuentren entre el 15% y el 100% de la escala completa.

1.2 Si se utilizan sistemas de lectura (ordenadores, registradores de datos, etc.) que tengan una precisión y una resolución suficientes por debajo del 15% de la escala completa, también serán aceptables las concentraciones que estén por debajo del 15% de la escala completa. En tal caso, se realizarán calibrados adicionales para garantizar la precisión de las curvas de calibrado (véase 5.5.2 del apéndice 4 del presente Código).

1.3 El nivel de compatibilidad electromagnética (CEM) del equipo será suficiente para reducir al mínimo los errores adicionales.

1.4 Definiciones

- .1 La *repetibilidad* de un analizador se define como 2,5 veces la desviación normal de 10 respuestas repetitivas a un gas de calibrado determinado.
- .2 La *respuesta cero* de un analizador se define como su respuesta media, incluido el ruido, a un gas cero durante un intervalo de 30 segundos.
- .3 El *calibrado* se define como la diferencia entre la respuesta de calibrado y la respuesta cero.
- .4 La *respuesta de calibrado* se define como la respuesta media, incluido el ruido, a un gas de calibrado durante un intervalo de 30 segundos.

1.5 Error de medición

El error total de medición, incluida la sensibilidad a la interferencia de otros gases (véase la sección 8 del apéndice 4 del presente Código), no

deberá ser superior a $\pm 5\%$ de la lectura o $\pm 3,5\%$ de la escala completa, si este último valor es menor. Para concentraciones inferiores a 100 ppm, el error de medición no excederá de ± 4 ppm.

1.6 Repetibilidad

La repetibilidad de un analizador no deberá ser superior a $\pm 1\%$ de la escala completa de concentraciones para cada intervalo utilizado por encima de 155 ppm (o ppm de C) o $\pm 2\%$ de cada intervalo utilizado por debajo de 155 ppm (o ppm de C).

1.7 Ruido

La respuesta de cresta a cresta del analizador a los gases cero y de calibrado medida en cualquier periodo de 10 segundos no deberá exceder del 2% de la escala completa en todos los intervalos utilizados.

1.8 Deriva del cero

La deriva del cero durante un periodo de una hora deberá ser inferior al 2% de la escala completa en el intervalo más bajo utilizado.

1.9 Deriva del calibrado

La deriva del calibrado deberá ser inferior al 2% de la escala completa durante un periodo de una hora en el intervalo más bajo utilizado.

2 Secado del gas

El dispositivo facultativo de secado del gas tendrá que tener un efecto mínimo sobre la concentración de los gases medidos. Los secadores químicos no constituyen un método aceptable para extraer el agua de la muestra.

3 Analizadores

Los gases que haya que medir se analizarán con los instrumentos siguientes. En el caso de analizadores no lineales se permite el uso de circuitos de linealización.

- .1 Análisis del monóxido de carbono (CO)
El analizador de monóxido de carbono será un analizador de absorción de infrarrojos no dispersivos (IND).
- .2 Análisis del dióxido de carbono (CO₂)
El analizador de dióxido de carbono será un analizador de absorción de infrarrojos no dispersivos (IND).

- .3 **Análisis del oxígeno (O₂)**
Los analizadores de oxígeno serán de tipo detector paramagnético (DPM), de dióxido de circonio (DOC) o sensor electroquímico (SEQ).
Nota: Los sensores electroquímicos podrán compensar las interferencias de CO₂ y NO_x.
- .4 **Análisis de los óxidos de nitrógeno (NO_x)**
El analizador de óxidos de nitrógeno será de tipo detector quimioluminiscente (DQL) o detector quimioluminiscente caldeado (DQLC) con convertidor de NO₂ y NO, si la medición se realiza en seco. Cuando la medición se realice en húmedo, se utilizará un DQLC con convertidor, mantenido a más de 333 K (60°C), siempre que se efectúe la comprobación del efecto de mitigación del agua (véase [8.2.2 del apéndice 4](#) del presente Código).

Apéndice 4

Calibrado de los instrumentos de análisis

(Véase el capítulo 5 del Código Técnico sobre los NO_x)

1 Introducción

1.1 Todo analizador que se utilice para la medición de los parámetros de un motor se calibrará tantas veces como sea necesario de conformidad con las prescripciones del presente apéndice.

1.2 Salvo cuando se estipule lo contrario, todos los resultados de las mediciones, los datos de ensayo y los cálculos prescritos en este apéndice se consignarán en el informe relativo al ensayo del motor, de conformidad con lo indicado en la sección 5.10 del presente Código.

1.3 Precisión de los instrumentos de análisis

1.3.1 Desviación admisible de los instrumentos de medición en el banco de pruebas

La calibración de todos los instrumentos de medición cumplirá los requisitos de las tablas 1 y 2 y corresponderá a las normas nacionales o internacionales.

Tabla 1 – Desviaciones admisibles de los parámetros del motor para las mediciones en el banco de pruebas

Nº	Parámetro	Desviación admisible (± % de los valores máximos del motor)	Intervalos de calibrado (meses)
1	Velocidad del motor	2%	3
2	Par	2%	3
3	Potencia	2%	no se aplica
4	Consumo de combustible	2%	6
5	Consumo de aire	2%	6
6	Flujo de los gases de escape	4%	5

Tabla 2 – Desviaciones admisibles de los parámetros esenciales medidos en el banco de pruebas

Nº	Parámetro	Desviación admisible (± de los valores absolutos)	Intervalos de calibrado (meses)
1	Temperatura del refrigerante	2 K	3
2	Temperatura del lubricante	2 K	3
3	Presión de los gases de escape	5% del valor máximo	3
4	Depresiones del colector de admisión	5% del valor máximo	3
5	Temperatura de los gases de escape	15 K	3
6	Temperatura en la entrada de aire (aire de la combustión)	2 K	3
7	Presión atmosférica	0,5% del valor medido	3
8	Humedad (relativa) del aire de admisión	3%	1
9	Temperatura del combustible	2 K	3

1.3.2 Desviación admisible de los instrumentos de medición a bordo del buque a efectos de verificación

El calibrado de todos los instrumentos de medición cumplirá las prescripciones de las tablas 3 y 4 y corresponderá a las normas nacionales o internacionales.

Tabla 3 – Desviación admisible de los instrumentos para medir los parámetros del motor a bordo del buque

Nº	Parámetro	Desviación admisible (± % de los valores máximos del motor)	Intervalos de calibrado (meses)
1	Velocidad del motor	2%	3
2	Par	5%	3
3	Potencia	5%	no se aplica
4	Consumo de combustible	4%/6% diesel/residual	6
5	Consumo específico de combustible	no se aplica	no se aplica
6	Consumo de aire	5%	6
7	Flujo de los gases de escape	5% calculado	6

Tabla 4 – Desviaciones admisibles de los instrumentos para medir otros parámetros esenciales a bordo del buque

Nº	Parámetro	Desviación admisible (± de los valores absolutos o medidos)	Intervalos de calibrado (meses)
1	Temperatura del refrigerante	2 K	3
2	Temperatura del aceite lubricante	2 K	3
3	Presión de los gases de escape	5% del valor máximo	3
4	Depresiones del colector de admisión	5% del valor máximo	3
5	Temperatura de los gases de escape	15 K	3
6	Temperatura en la entrada de aire	2 K	3
7	Presión atmosférica	0,5% del valor medido	3
8	Humedad (relativa) del aire de admisión	3%	1
9	Temperatura del combustible	2 K	3

2 Gases de calibrado

No se excederá la fecha límite de conservación de los gases de calibrado recomendada por el fabricante. Se registrará la fecha de caducidad de los gases de calibrado indicada por el fabricante.

2.1 Gases puros

2.1.1 La pureza requerida de los gases se define mediante los límites de contaminación indicados a continuación. Será preciso disponer de los siguientes gases para aplicar los procedimientos de medición en el banco de pruebas:

- .1 Nitrógeno purificado (contaminación ≤ 1 ppm de C, ≤ 1 ppm de CO, ≤ 400 ppm de CO₂, $\leq 0,1$ ppm de NO);
- .2 Oxígeno purificado (pureza $> 99,5\%$ en volumen de O₂);
- .3 Mezcla hidrógeno-helio (40 \pm 2% hidrógeno, resto helio) (contaminación ≤ 1 ppm de C, ≤ 400 ppm de CO); y

- .4 Aire sintético purificado (contaminación ≤ 1 ppm de C, ≤ 1 ppm de CO, ≤ 400 ppm de CO_2 , $\leq 0,1$ ppm de NO) (contenido de oxígeno entre 18 y 21% en volumen).

2.2 Gases de calibrado

2.2.1 Se dispondrá de mezclas de gases con las siguientes composiciones químicas:

- .1 CO y nitrógeno purificado;
- .2 NO_x y nitrógeno purificado (la cantidad de NO_2 contenida en este gas de calibrado no deberá exceder del 5% del contenido de NO);
- .3 O_2 y nitrógeno purificado; y
- .4 CO_2 y nitrógeno purificado.

Nota: Se permiten también otras combinaciones de gases, con tal de que dichos gases no reaccionen entre sí.

2.2.2 La concentración real de un gas de calibrado habrá de ser igual a $\pm 2\%$ del valor nominal. Todas las concentraciones de los gases de calibrado se expresarán en volumen (porcentaje en volumen o ppm en volumen).

2.2.3 Los gases utilizados para fines de calibrado podrán obtenerse también mediante un separador de gases, diluyéndolos con N_2 purificado o con aire sintético purificado. El aparato de mezcla tendrá una precisión que permita determinar la concentración de los gases de calibrado diluidos con una precisión de $\pm 2\%$.

3 Procedimiento de utilización de los analizadores y del sistema de muestreo

El procedimiento de utilización de los analizadores se ajustará a las instrucciones de puesta en marcha y de funcionamiento del fabricante. Se incluirán las prescripciones mínimas que figuran en las secciones 4 a 9.

4 Prueba de fugas

4.1 Se someterá el sistema a una prueba de fugas. Se desconectará la sonda del sistema de escape y el extremo del mismo se taponará. Se conectará la bomba del analizador. Tras un periodo inicial de estabilización, todos los flujómetros deberán indicar cero; de lo contrario, se verificarán los tubos de muestreo y se corregirá el defecto.

4.2 La tasa máxima de fugas admisible en el extremo aspirante será un 0,5% del caudal en servicio para la parte del sistema que se esté verifi-

cando. Podrán utilizarse los flujos del analizador y de derivación para calcular los caudales en servicio.

4.3 Otro método posible consiste en efectuar un cambio pronunciado de la concentración al comienzo del tubo de muestreo, sustituyendo el gas cero por un gas de calibrado. Tras un periodo adecuado, si la lectura indica que la concentración es más baja que la del gas introducido, esto significa que existe un problema de calibrado o de fuga.

5 Procedimiento de calibrado

5.1 Ensamblaje de instrumentos

Se calibrará el ensamblaje de instrumentos y las curvas de calibrado se compararán con las de los gases estándar. Se utilizarán los mismos caudales de gas que para el muestreo de los gases de escape.

5.2 Periodo de calentamiento

El periodo de calentamiento se ajustará a las recomendaciones del fabricante del analizador. Si no se especifica, se recomienda un periodo mínimo de dos horas para el calentamiento de los analizadores.

5.3 Analizador AIND y DILC

El AIND se regulará siempre que sea necesario.

5.4 Calibrado

5.4.1 Se calibrará cada uno de los intervalos de funcionamiento normalmente utilizados.

5.4.2 Los analizadores de CO, CO₂, NO_x y O₂ se pondrán en cero utilizando aire sintético purificado (o nitrógeno).

5.4.3 Una vez introducidos en los analizadores los gases de calibrado apropiados, se registrarán los valores obtenidos y se establecerá la curva de calibrado según se indica en 5.5 *infra*.

5.4.4 Si es necesario, se volverá a comprobar la puesta a cero y se repetirá el procedimiento de calibrado.

5.5 Establecimiento de la curva de calibrado

5.5.1 Orientaciones generales

5.5.1.1 La curva de calibrado del analizador se establecerá mediante cinco puntos de calibrado como mínimo (excluido el cero), espaciados

de la manera más uniforme posible. La concentración nominal máxima será igual o superior al 90% de la escala completa.

5.5.1.2 La curva de calibrado se calculará por el método de mínimos cuadrados. Si el polinomio resultante es de grado superior a 3, el número de puntos de calibrado (incluido el cero) será, como mínimo, igual al grado del polinomio más 2.

5.5.1.3 La curva de calibrado no deberá diferir más del $\pm 2\%$ del valor nominal de cada punto de calibrado, ni más del $\pm 1\%$ de la escala completa en cero.

5.5.1.4 A partir de la curva de calibrado y de los puntos de calibrado, es posible verificar si el calibrado se ha llevado a cabo correctamente. Se indicarán los diversos parámetros característicos del analizador y, en particular:

- .1 el intervalo de medición;
- .2 la sensibilidad; y
- .3 la fecha en que se realizó el calibrado.

5.5.2 Calibrado por debajo del 15% de la escala completa

5.5.2.1 La curva de calibrado del analizador se establecerá mediante 10 puntos de calibrado como mínimo (excluido el cero), espaciados de manera que el 50% de los mismos se encuentre por debajo del 10% de la escala completa.

5.5.2.2 La curva de calibrado se calculará por el método de mínimos cuadrados.

5.5.2.3 La curva de calibrado no deberá diferir más del $\pm 4\%$ del valor nominal de cada punto de calibrado, ni más del $\pm 1\%$ de la escala completa en cero.

5.5.3 Otros métodos

Se podrán utilizar otras técnicas (por ejemplo, ordenadores, conmutador de escala electrónico, etc.) si se puede demostrar que ofrecen una precisión equivalente.

6 Verificación del calibrado

Cada intervalo de funcionamiento normalmente utilizado se comprobará antes de cada análisis, de conformidad con el procedimiento siguiente:

- .1 el calibrado se verificará mediante el uso de un gas cero y un gas de calibrado, cuyo valor nominal sea superior al 80% de la escala completa del intervalo de medición; y

- 2 si el valor obtenido para los dos puntos considerados no difiere del valor de referencia declarado más del $\pm 4\%$ de la escala completa, podrán modificarse los parámetros de ajuste. De lo contrario, será necesario establecer una nueva curva de calibrado de conformidad con lo indicado en 5.5 *supra*.

7 Prueba de eficacia del convertidor de NO_x

La prueba de la eficacia del convertidor utilizado para la conversión de NO₂ en NO se llevará a cabo según se indica a continuación en 7.1 a 7.8.

7.1 Montaje de ensayo

Utilizando el montaje de ensayo de la figura 1 (véase también 3.4 del apéndice 3 del presente Código) y el procedimiento indicado a continuación, se someterá a ensayo la eficacia de los convertidores mediante un ozonizador.

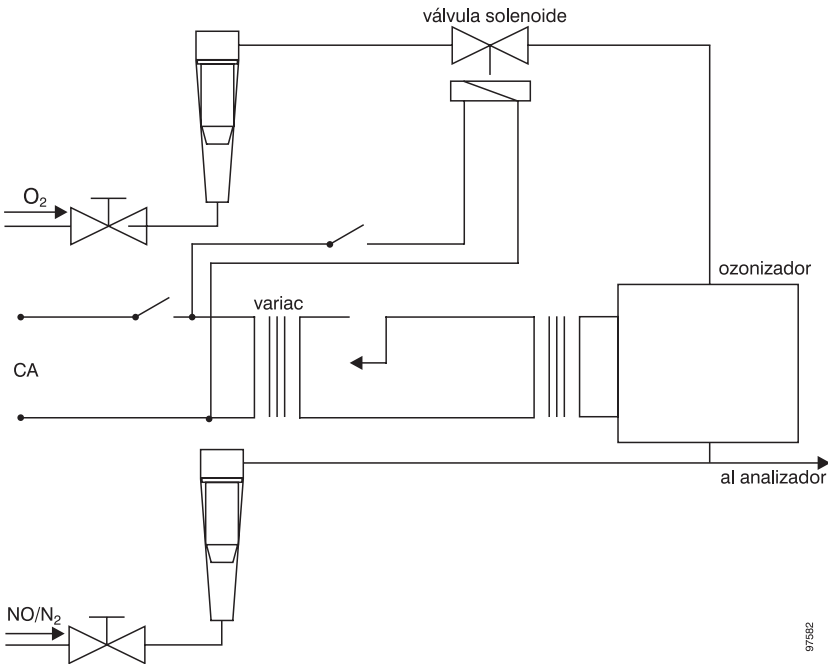


Figura 1 – Diagrama del dispositivo de ensayo de la eficacia del convertidor de NO₂

7.2 Calibrado

El DQL y el DQLC se calibrarán en el intervalo de funcionamiento más común de acuerdo con las especificaciones del fabricante y utilizando un gas cero y de calibrado (el contenido de NO de éste debería ser aproximadamente del 80% del intervalo de funcionamiento y la concentración de NO₂ de la mezcla gaseosa debería ser inferior al 5% de la concentración de NO). El analizador de NO_x deberá estar en la modalidad NO, de forma que el gas de calibrado no pase por el convertidor. Se registrará la concentración indicada.

7.3 Cálculo

La eficacia del convertidor de NO_x se calculará de la manera siguiente:

$$\text{Eficacia (\%)} = \left(1 + \frac{a - b}{c - d} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

donde:

a = concentración de NO_x de acuerdo con 7.6 *infra*

b = concentración de NO_x de acuerdo con 7.7 *infra*

c = concentración de NO de acuerdo con 7.4 *infra*

d = concentración de NO de acuerdo con 7.5 *infra*

7.4 Adición de oxígeno

7.4.1 Mediante una pieza en T, se añadirá continuamente oxígeno o aire cero al flujo de gas hasta que la concentración indicada sea alrededor de un 20% inferior a la concentración de calibrado indicada en el párrafo 7.2 *supra*. (El analizador estará en la modalidad NO).

7.4.2 Se registrará la concentración “*c*” indicada. El ozonizador se mantendrá desactivado durante todo el proceso.

7.5 Activación del ozonizador

Se activará entonces el ozonizador de manera que genere suficiente ozono para reducir la concentración de NO al 20% aproximadamente (mínimo 10%) de la concentración de calibrado dada en 7.2 *supra*. Se consignará la concentración “*d*” indicada (el analizador deberá estar en la modalidad NO).

7.6 Modalidad NO_x

Luego, se pondrá el analizador de NO en la modalidad NO_x, de manera que la mezcla gaseosa (constituida por NO, NO₂, O₂ y N₂) pase por el

convertidor. Se consignará la concentración “a” indicada (el analizador deberá estar en la modalidad NO_x).

7.7 Desactivación del ozonizador

A continuación, se desactivará el ozonizador y la mezcla de gases descrita en 7.6 *supra* pasa por el convertidor al detector. Se consignará la concentración “b” indicada (el analizador deberá estar en la modalidad NO_x).

7.8 Modalidad NO

Una vez puesto de nuevo en la modalidad NO, con el ozonizador desactivado, se desconectará también el flujo de oxígeno o de aire sintético. La lectura de NO_x del analizador no deberá apartarse más del $\pm 5\%$ del valor medido de conformidad con 7.2 *supra* (el analizador deberá estar en la modalidad NO_x).

7.9 Intervalo de prueba

Se verificará la eficacia del convertidor antes de cada calibrado del analizador de NO_x.

7.10 Prescripción de eficacia

La eficacia del convertidor no será inferior al 90%, pero se recomienda encarecidamente una eficacia del 95%.

Nota: Si, estando el analizador en el intervalo más común, el convertidor de NO_x no puede reducir la concentración del 80% al 20% de conformidad con 7.2 *supra*, se utilizará el intervalo más alto que permita obtener dicha reducción.

8 Interferencias en los analizadores de CO, CO₂, NO_x y O₂

Aparte del gas que se está analizando, en el tubo de escape hay otros gases que pueden incidir de maneras distintas en la lectura. En los AIND y en los DPM, la interferencia puede ser positiva si el gas interferente tiene el mismo efecto, aunque en menor grado, que el gas que se está midiendo. En los AIND puede haber una interferencia negativa si el gas interferente amplía la banda de absorción del gas medido, y en los DQL, si el gas interferente mitiga la radiación. Antes de utilizar el analizador por primera vez y tras prolongados intervalos de servicio, se harán las comprobaciones de interferencias indicadas en 8.1 y 8.2.

8.1 Comprobación de interferencias en el analizador de CO

El agua y el CO₂ pueden incidir en la eficacia del analizador de CO y, por lo tanto, se hará burbujear en agua a la temperatura ambiente un gas de calibrado CO₂ con una concentración del 80 al 100% de la escala completa del intervalo máximo de funcionamiento utilizado durante la prueba y se registrará la respuesta del analizador. La respuesta del analizador no deberá ser superior al 1% de la escala completa para intervalos iguales o superiores a 300 ppm, o de más de 3 ppm para intervalos inferiores a 300 ppm.

8.2 Comprobaciones del efecto de mitigación en el analizador de NO_x

Los dos gases que interfieren en los analizadores de tipo DQL (y DQLC) son el CO₂ y el vapor de agua. El efecto de mitigación de estos gases es proporcional a su concentración y, por lo tanto, es necesario utilizar técnicas de ensayo para determinar el efecto de mitigación a las más altas concentraciones previstas que puedan producirse durante la prueba.

8.2.1 Comprobación del efecto de mitigación del CO₂

8.2.1.1 Se hará pasar por el AIND un gas de calibrado CO₂ con una concentración del 80 al 100% de la escala completa del intervalo máximo de funcionamiento y se registrará el valor *A* del CO₂. Acto seguido, se diluirá el gas de calibrado en un 50%, aproximadamente, con un gas de calibrado NO, se hará pasar el gas diluido por el AIND y por el DQL(C) y se registrarán los respectivos valores *B* y *C* de CO₂ y NO. Por último, se cerrará el paso de CO₂, se dejará pasar únicamente el gas de calibrado NO por el DQL(C) y se registrará el valor *D* del NO.

8.2.1.2 El efecto de mitigación se calculará como sigue:

$$\% \text{ Mitigación} = \left[1 - \left(\frac{(C \cdot A)}{(D \cdot A) - (D \cdot B)} \right) \right] \cdot 100 \quad (2)$$

donde:

<i>A</i> = Concentración de CO ₂ no diluido medida con un AIND	%
<i>B</i> = Concentración de CO ₂ diluido medida con un AIND	%
<i>C</i> = Concentración de NO diluido medida con un DQL(C)	ppm
<i>D</i> = Concentración de NO no diluido medida con un DQL(C)	ppm

y no será superior al 3% de la escala completa.

8.2.1.3 Podrán utilizarse otros métodos de dilución y cuantificación de los valores de los gases de calibrado CO₂ y NO, tales como el de mezcla dinámica.

8.2.2 Comprobación del efecto de mitigación del agua

8.2.2.1 Esta comprobación es únicamente aplicable a la medición de las concentraciones de gases en húmedo. Para el cálculo del efecto de mitigación del agua, se tendrá en cuenta la dilución del gas de calibrado NO con vapor de agua y la determinación de la concentración del vapor de agua de la mezcla en función de la esperada durante el ensayo.

8.2.2.2 Se hará pasar un gas de calibrado NO con una concentración del 80 al 100% de la escala completa del intervalo normal de funcionamiento por el DQL(C) y se registrará el valor D de NO. A continuación, se hará burbujear en agua a la temperatura ambiente el gas de calibrado NO, haciéndolo pasar luego por el DQL(C) y se registrará el valor C del NO. Se determinarán y registrarán la presión absoluta de funcionamiento E del analizador y la temperatura F del agua. Se determinará y registrará la presión de saturación G del vapor de la mezcla que corresponde a la temperatura F del agua en la que se ha hecho burbujear el gas. La concentración H (en porcentaje) de vapor de agua de la mezcla se calculará de la manera siguiente:

$$H = 100 \cdot \left(\frac{G}{E} \right) \quad (3)$$

y se registrará. La concentración D_e prevista del gas de calibrado NO diluido (en vapor de agua) se calculará de la manera siguiente:

$$D_e = D \cdot \left(1 - \frac{H}{100} \right) \quad (4)$$

y se registrará. Para los sistemas de escape de los motores diesel, la concentración máxima prevista H_m (en porcentaje) de vapor de agua en los gases de escape que pueda producirse durante el ensayo, suponiendo que la relación atómica hidrógeno/carbono (H/C) del combustible es de 1,8/1, se calculará en función de la concentración del gas de calibrado CO₂ no diluido (A , medida según se indica en 8.2.1 *supra*), de la manera siguiente:

$$H_m = 0,9 \cdot A \quad (5)$$

y se registrará.

8.2.2.3 El efecto de mitigación del agua se calculará como sigue:

$$\% \text{ Mitigación} = 100 \cdot \frac{(D_e - C)}{D_e} \cdot \frac{H_m}{H} \quad (6)$$

donde:

D_c	= Concentración de NO diluido prevista	ppm
C	= Concentración de NO diluido	ppm
H_m	= Concentración máxima del vapor de agua	%
H	= Concentración real del vapor de agua	%

y no será superior a 3%.

Nota: Es importante que el gas de calibrado NO tenga una concentración mínima de NO₂ para esta comprobación, dado que la absorción de NO₂ en el agua no se ha tenido en cuenta en los cálculos del efecto de mitigación.

8.3 Interferencia en el analizador de O₂

8.3.1 La respuesta de un DPM a los gases distintos del oxígeno es relativamente débil. En la tabla 5 se indican los equivalentes en oxígeno de los elementos constitutivos comunes de los gases de escape.

Tabla 5 – Equivalentes en oxígeno

Gas en concentración del 100%	Equivalente en porcentaje de O ₂
Dióxido de carbono, CO ₂	- 0,623
Monóxido de carbono, CO	- 0,354
Óxido nítrico, NO	+ 44,4
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	+ 28,7
Agua, H ₂ O	- 0,381

8.3.2 La concentración de oxígeno observada se corregirá mediante la siguiente fórmula, cuando se requieran mediciones de alta precisión:

$$\text{Interferencia} = \frac{\text{equivalente en porcentaje de O}_2 \times \text{concentración observada}}{100} \quad (7)$$

8.3.3 Para los analizadores tipo DOC y SEQ, la interferencia causada por los gases distintos del oxígeno se compensará siguiendo las instrucciones del proveedor del instrumento.

9 Intervalos de calibrado

De conformidad con lo indicado en la sección 5, los analizadores se calibrarán cada tres meses, como mínimo, o siempre que se realice una reparación o cambio del sistema que pudiera afectar al calibrado.

Apéndice 5

Informe relativo al ensayo de muestras (Véase 5.10 del Código Técnico sobre los NO_x)

Informe relativo al ensayo de emisiones N° Datos del motor* Hoja 1/5

Motor			
Fabricante			
Tipo de motor			
Identificación de la familia o el grupo			
Número de serie			
Velocidad de régimen			rpm
Potencia de régimen			kW
Velocidad intermedia			rpm
Par máximo a velocidad intermedia			N m
Reglaje de inyección estática			grados CA BTDC
Control de inyección electrónica	no:	sí:	
Reglaje de inyección variable	no:	sí:	
Turbosoplante de geometría variable	no:	sí:	
Diámetro interior			mm
Carrera			mm
Relación de compresión nominal			
Presión efectiva media a la potencia de régimen			kPa
Presión máxima del cilindro a la potencia de régimen			kPa
Número y configuración de los cilindros	Número:	V:	En línea:
Máquinas auxiliares			
Condiciones ambientales especificadas:			
Temperatura máxima del agua del mar			°C
Temperatura máxima del aire de carga, si corresponde			°C
Especificación del sistema de refrigeración, refrigerador intermedio	no:	sí:	
Especificación del sistema de refrigeración, fases del aire de carga			
Puntos de referencia del sistema de refrigeración a temperatura baja/alta		/	°C
Depresión de admisión máxima			kPa
Contrapresión de escape máxima			kPa
Especificación del fueloil			
Temperatura del fueloil			°C
Especificación del aceite lubricante			
Uso/destinado a:			
Cliente			
Uso/instalación final, Buque			
Uso/instalación final, Motor	Principal:	Auxiliar:	
Resultados del ensayo de emisiones			
Ciclo			
NO _x			g/kW h
Identificación del ensayo			
Fecha/hora			
Lugar/banco de pruebas			
Número del ensayo			
Inspector			
Fecha y lugar del informe			
Firma			

* Si procede.

Informe relativo al ensayo de emisiones N° Datos de la familia del motor* Hoja 2/5

Datos de la familia o grupo del motor (especificaciones comunes)	
Ciclo de combustión	Ciclo de 2 tiempos/ciclo de 4 tiempos
Medio de refrigeración	Aire/agua
Configuración del cilindro	Deberá figurar por escrito únicamente cuando se apliquen dispositivos de limpieza de gases de escape
Método de aspiración	Aspiración natural/sobrealimentación
Tipo de combustible que se utilizará a bordo	Destilado/combustible destilado o pesado/de dos tipos
Cámara de combustión	Cámara abierta/cámara dividida
Configuración de las lumbreras de válvula	Culata de cilindros/pared del cilindro
Tamaño y número de lumbreras de válvula	
Tipo de sistema de combustible	

Características diversas:	
Recirculación de gases de escape	no / sí
Inyección/emulsión de agua	no / sí
Inyección de aire	no / sí
Sistema de refrigeración de carga	no / sí
Tratamiento de los gases de escape	no / sí
Tipo de tratamiento de los gases de escape	
Sistema de combustible doble	no / sí

Datos de la familia/grupo del motor (selección del motor de referencia para ensayos en el banco de pruebas)					
Identificación de la familia/grupo					
Método de sobrealimentación					
Sistema de refrigeración del aire de carga					
Criterios de la selección (especificar)	Régimen más alto de alimentación de combustible/ otro método (especificar)				
Número de cilindros					
Potencia máxima de régimen por cilindro					
Velocidad de régimen					
Escala de reglaje de inyección variable					
Motor de referencia de máximo consumo					
Motor de referencia seleccionado					Referencia
Uso					

* Si procede.

Modalidad		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia/par	%										
Velocidad	%										
Hora al inicio de la modalidad											

Datos relativos al medio ambiente											
Presión atmosférica	kPa										
Temperatura del aire de la toma	°C										
Humedad del aire de la toma	g/kg										
Factor atmosférico (f_a)											

Datos relativos a las emisiones gaseosas											
Concentración en seco/húmedo de NO _x	ppm										
Concentración en seco/húmedo de CO	ppm										
Concentración en seco/húmedo de CO ₂	%										
Concentración en seco/húmedo de O ₂	%										
Concentración en seco/húmedo de HC	ppm										
Factor de correc. de la humedad de los NO _x											
Factor de especificación del combustible (FFH)											
Factor de corrección en seco/húmedo											
Flujo másico de NO _x	kg/h										
Flujo másico de CO	kg/h										
Flujo másico de CO ₂	kg/h										
Flujo másico de O ₂	kg/h										
Flujo másico de HC	kg/h										
Flujo másico de SO ₂	kg/h										
Específico NO _x	g/kW h										

* Si procede.

Modalidad		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia/par	%										
Velocidad	%										
Hora al inicio de la modalidad											

Datos del motor											
Velocidad	rpm										
Potencia auxiliar	kW										
Reglaje del dinamómetro	kW										
Potencia	kW										
Presión eficaz media	bar										
Bastidor de combustible	mm										
Cons. combustible espec. sin corregir	g/kW h										
Flujo de combustible	kg/h										
Flujo de aire	kg/h										
Flujo de escape (<i>gexhw</i>)	kg/h										
Temperatura de escape	°C										
Contrapresión de escape	mbar										
Temp. refrigerante de cilindro, salida	°C										
Temp. refrigerante de cilindro, entrada	°C										
Presión refrigerante de cilindro	bar										
Temperatura del aire interenfriado	°C										
Temperatura del lubricante	°C										
Presión del lubricante	bar										
Depresión de admisión	mbar										

* Si procede.

Apéndice 6

Cálculo del flujo másico de los gases de escape (método de equilibrado del carbono)

(Véase el capítulo 5 del Código Técnico sobre los NO_x)

1 Introducción

1.1 En este apéndice se trata el cálculo del flujo másico de los gases de escape o del consumo de aire de combustión. Ambos métodos, que se indican a continuación, están basados en la medición de la concentración de los gases de escape, y en el conocimiento del consumo de combustible. Los símbolos y las descripciones de términos y variables utilizadas en las fórmulas para el método de medición por equilibrado del carbono se resumen en la [tabla 4 de abreviaturas, subíndices y símbolos](#) del Código.

1.2 Se incluyen en este apéndice dos métodos para calcular el flujo másico de los gases de escape, a saber: el método 1 (equilibrado del carbono) que sólo será válido cuando se utilicen combustibles sin contenido de oxígeno y nitrógeno, y el método 2 (universal, equilibrado carbono/oxígeno) aplicable a los combustibles que contengan H, C, S, O, N en cantidades conocidas.

1.3 El método 2 proporciona una derivación universal y fácilmente comprensible de todas las ecuaciones, incluyendo la totalidad de las constantes, dado que son numerosos los casos en que las constantes actualmente disponibles, en las que se olvidan los parámetros esenciales, pueden llevar a resultados erróneos y que podrían evitarse. Aplicando las ecuaciones siguientes, será posible también calcular los parámetros esenciales bajo condiciones distintas de las estándar.

1.4 En la tabla 1 se presentan ejemplos de parámetros de ciertos combustibles seleccionados. Los valores de composición del combustible sólo sirven de referencia y no deberán utilizarse en lugar de los valores del fueloil que se emplee en la práctica.

1.5 Salvo que se especifique lo contrario, todos los resultados de los cálculos prescritos en este apéndice se registrarán en el informe relativo al ensayo del motor de conformidad con la [sección 5.10](#) del presente Código.

Tabla 1 – Parámetros de ciertos combustibles seleccionados (ejemplos)

Combustible	C %	H %	S %	O %	I	FFH	FFW	FFD	EXHDENS
Gasoil	86,2	13,6	0,17	0	1	1,835	0,749	-0,767	1,294
					1,35	1,865			1,293
					3,5	1,920			1,292
RME	77,2	12,0		10,8	1	1,600	0,734	-0,599	1,296
					1,35	1,63			1,295
					3,5	1,685			1,292
Metanol	37,5	12,6	0	50,0	1	1,495	1,046	-0,354	1,233
					1,35	1,565			1,246
					3,5	1,705			1,272
Etanol	52,1	13,1	0	34,7	1	1,65	0,965	-0,49	1,26
					1,35	1,704			1,265
					3,5	1,807			1,281
Gas natural *	60,6	19,3	0	1,9	1	2,509	1,078	-1,065	1,257
					1,35	2,572			1,265
					3,5	2,689			1,28
Propano	81,7	18,3	0	0	1	2,423	1,007	-1,025	1,268
					1,35	2,473			1,273
					3,5	2,564			1,284
Butano	82,7	17,3	0	0	1	2,298	0,952	-0,97	1,273
					1,35	2,343			1,277
					3,5	2,426			1,285

* Composición volumétrica: CO₂ 1,10%; N₂ 12,10%; CH₄ 84,20%; C₂H₆ 3,42%; C₃H₈ 0,66%; C₄H₁₀ 0,22%; C₅H₁₂ 0,05%; C₆H₁₄ 0,05%.

2 Método 1, equilibrado del carbono

2.1 Este método consta de seis etapas para el cálculo de las concentraciones de los gases de escape en función de las características del combustible.

2.2 Las fórmulas dadas en el método 1 solamente tienen validez si no hay oxígeno en el combustible.

2.3 **Primera etapa:** Cálculo de la demanda estequiométrica de aire

2.3.1 Proceso de combustión completa:



$$STOIAIR = (BET/12,011 + ALF/(4 \cdot 1,00794) + GAM/32,060) \cdot 31,9988/23,15 \quad (1-4)$$

2.4 **Segunda etapa:** Cálculo del factor de aire sobrante sobre la base de una combustión completa y de la concentración de CO₂

$$EAFEDO = ((BET \cdot 10 \cdot 22,262/(12,011 \cdot 1000))/(CO2D/100) + STOJAR \cdot 0,2315/1,42895 - BET \cdot 10 \cdot 22,262/(12,011 \cdot 1000) - GAM \cdot 10 \cdot 21,891/(32,060 \cdot 1000))/(STOJAR \cdot (0,7685/1,2505 + 0,2315/1,42895)) \quad (1-5)$$

2.5 Tercera etapa: Cálculo de la relación hidrógeno/carbono

$$HTCRAT = ALF \cdot 12,011/(1,00794 \cdot BET) \quad (1-6)$$

2.6 Cuarta etapa: Cálculo de la concentración de hidrocarburos en seco sobre la base del procedimiento ECE R49 con respecto a las características del combustible y la relación aire:combustible.

2.6.1 La conversión de concentración en seco a la concentración en húmedo viene dada por:

$$conc_{húmedo} = conc_{seco} \cdot (1 - FFH \cdot (\text{consumo de combustible} / \text{consumo de aire seco})) \quad (1-7)$$

$$FFH \cdot \frac{\text{consumo de combustible}}{\text{consumo de aire seco}} = \frac{\text{volumen de agua del proceso de combustión}}{\text{volumen total de gases de escape en húmedo}} \quad (1-8)$$

Volumen total del escape húmedo = Nitrógeno del aire de la combustión + oxígeno sobrante + argón del aire de combustion + agua del aire de combustion + agua del proceso de combustion + CO₂ del proceso de combustion + SO₂ del proceso de combustion

$$FFH \cdot \frac{GFUEL}{GAIRD} = (10 \cdot ALF \cdot MVH2O/(2 \cdot 1,0079 \cdot 1000)) \cdot GFUEL/((0,7551/1,2505 \cdot (GAIRD)/(GFUEL \cdot STOJAR)) \cdot STOJAR + 0,2315/1,42895 \cdot ((GAIRD)/(GFUEL \cdot STOJAR)) - 1) \cdot STOJAR + 0,0129/1,7840 \cdot (GAIRD)/(GFUEL \cdot STOJAR)) \cdot STOJAR + 0,0005/1,9769 \cdot (GAIRD)/(GFUEL \cdot STOJAR)) \cdot STOJAR + (ALF \cdot 10 \cdot MVCO2/(2 \cdot 1,0079 \cdot 1000)) + (BET \cdot 10 \cdot MVCO2/(12,001 \cdot 1000)) + (GAM \cdot 10 \cdot MVSO2/(32,060 \cdot 1000)) \cdot GFUEL \quad (1-10)$$

donde:

$$MVH2O = 22,401 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$MVCO2 = 22,262 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$MVSO2 = 21,891 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

2.6.2 La ecuación resultante es:

$$FFH \cdot \frac{GFUEL}{GAIRD} = (0,111127 \cdot ALF) / (0,0555583 \cdot ALF - 0,000109 \cdot BET - 0,000157 \cdot GAM + 0,773329 \cdot (GAIRD / GFUEL)) \quad (1-11)$$

y

$$FFH = (0,111127 \cdot ALF) / (0,773329 + (0,0555583 \cdot ALF - 0,000109 \cdot BET - 0,000157 \cdot GAM) \cdot (GFUEL/GAIRD)) \quad (1-12)$$

2.6.3 El factor de aire sobrante se define como:

$$l_V = \text{consumo aire} / (\text{consumo de combustible} \cdot \text{demanda estequiométrica de aire}) \quad (1-13)$$

$$EAFCD0 = GAIRD / (GFUEL \cdot STOIA R) \quad (1-14)$$

$$GAIRD = EAFCD0 \cdot GFUEL \cdot STOIA R \quad (1-15)$$

$$\begin{aligned} CWET &= CDRY \cdot (1 - FFH \cdot GFUEL/GAIRD) \\ &= CDRY \cdot (1 - FFH \cdot GFUEL/(EAFCD0 \cdot GFUEL \cdot STOIA R)) \\ &= CDRY \cdot (1 - FFH/(EAFCD0 \cdot STOIA R)) \end{aligned} \quad (1-16)$$

$$\begin{aligned} CDRY &= CWET / (1 - FFH/(EAFCD0 \cdot STOIA R)) \\ &= CWET \cdot EAFCD0 \cdot STOIA R / (EAFCD0 \cdot STOIA R - FFH) \end{aligned} \quad (1-17)$$

$$HCD = HCW \cdot EAFCD0 \cdot STOIA R / (EAFCD0 \cdot STOIA R - FFH) \quad (1-18)$$

2.7 **Quinta etapa:** Cálculo del factor de aire sobrante sobre la base de los procedimientos especificados en el título 40 del Código de Reglamentación Federal de los Estados Unidos (40CFR86.345-79).

$$EXHCPN = (CO2D/100) + (COD/10^6) + (HCD/10^6) \quad (1-19)$$

$$\begin{aligned} l_V = EAFEXH &= (1/EXHCPN - COD/(10^6 \cdot 2 \cdot EXHCPN) \\ &\quad - HCD/(10^6 \cdot EXHCPN) + HTCRA T/4 \cdot (1 - HCD/(10^6 \\ &\quad \cdot EXHCPN)) - 0,75 \cdot HTCRA T/(3,5/(COD/(10^6 \\ &\quad \cdot EXHCPN)) + ((1 - 3,5)/(1 - HCD/(10^6 \\ &\quad \cdot EXHCPN)))))) / (4,77 \cdot (1 + HTCRA T/4)) \end{aligned} \quad (1-20)$$

2.8 **Sexta etapa:** Cálculo de la masa de los gases de escape

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico de los gases de escape} &= \text{consumo de combustible} \\ &\quad + \text{consumo de aire de combustión} \end{aligned} \quad (1-21)$$

(con el factor de aire sobrante definido en la cuarta etapa)

$$\begin{aligned} \text{Consumo de aire} &= l_V \cdot \text{consumo de combustible} \\ &\quad \cdot \text{demanda estequiométrica de aire} \end{aligned} \quad (1-22)$$

$$\text{Flujo másico de los gases de escape} = \text{consumo de combustible} \cdot (1 + I_V \cdot \text{demanda estequiométrica de aire}) \quad (1-23)$$

$$GEXHW = GFUEL \cdot (1 + EAFEXH \cdot STOLAR) \quad (1-24)$$

3 Método 2, universal, equilibrado del carbono/oxígeno

3.1 Introducción

Se presenta aquí una descripción fácilmente comprensible del método de equilibrado del carbono y del oxígeno, método que cabrá utilizar cuando pueda medirse el consumo de combustible y se conozcan la composición del combustible y las concentraciones de los componentes de los gases de escape.

3.2 Cálculo del flujo másico de los gases de escape sobre la base del equilibrado del carbono

$$GEXHW = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot 10^4}{AWC} \cdot \frac{1}{\left(\frac{CO2W \cdot 10^4}{MVCO2} + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right)} \quad (2-1)$$

3.2.1 Fórmula simplificada aplicable si la combustión es completa:

$$GEXHW = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot MVCO2}{AWC \cdot (CO2W - CO2AIR)} \quad (2-2)$$

3.3 Cálculo del flujo másico de los gases de escape sobre la base del equilibrado del oxígeno

$$GEXHW = GFUEL \cdot \left(\frac{\frac{Factor1}{1000 \cdot EXHDENS} + 10 \cdot Factor2 - 10 \cdot EPS}{10 \cdot TAU - \frac{Factor1}{1000 \cdot EXHDENS}} + 1 \right) \quad (2-3)$$

donde:

$$Factor1 = 10^4 \cdot \frac{MWO2 \cdot O2W}{MVO2} - \frac{AWO}{MVCO} \cdot COW + \frac{AWO}{MVNO} \cdot NOW + \frac{2 \cdot AWO}{MVNO2} \cdot NO2W - \frac{3 \cdot AWO}{MVHC} \cdot HCW - \frac{2 \cdot AWO}{AWC} \cdot CW \quad (2-4)$$

y

$$Factor2 = ALF \cdot \frac{AWO}{2 \cdot AWH} + BET \cdot \frac{2 \cdot AWO}{AWC} + GAM \cdot \frac{AWO}{AWS} \quad (2-5)$$

3.3.1 Fórmula simplificada aplicable si la combustión es completa:

$$Factor1_{\text{compl.}} = 10^4 \cdot \frac{MWO2}{MVO2} \cdot O2W \quad (2-6)$$

3.4 Derivación del equilibrado del oxígeno si la combustión es incompleta

3.4.1 Entrada de oxígeno en g/h:

$$G_{AIRW} \cdot TAU \cdot 10 + G_{FUEL} \cdot EPS \cdot 10 \quad (2-7)$$

3.4.2 Salida de oxígeno en g/h:

$$\begin{aligned} &GO_2 + GCO_2 \cdot \frac{2 \cdot AWO}{MWCO_2} + GCO \cdot \frac{AWO}{MWCO} + GNO \cdot \frac{AWO}{MVNO} \\ &+ GNO_2 \cdot \frac{2 \cdot AWO}{MVNO_2} + GSO_2 \cdot \frac{2 \cdot AWO}{MWSO_2} + GH_2O \cdot \frac{AWO}{MWH_2O} \end{aligned} \quad (2-8)$$

Sobre la base de las definiciones y fórmulas siguientes, se calculan los distintos componentes gaseosos en g/h en relación con los gases de escape húmedos (GC es el hollín en g/h).

$$GO_2 = \frac{MWO_2 \cdot 10}{MVO_2 \cdot EXHDENS} \cdot O_2W \cdot GEXHW \quad (2-9)$$

$$GCO = \frac{MWCO}{MVCO \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot COW \cdot GEXHW \quad (2-10)$$

$$GNO = \frac{MVNO}{MVNO \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot NOW \cdot GEXHW \quad (2-11)$$

$$GNO_2 = \frac{MVNO_2}{MVNO_2 \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot NO_2W \cdot GEXHW \quad (2-12)$$

$$\begin{aligned} GCO_2 = &\frac{MWCO_2}{AWC} \cdot GFUEL \cdot BET \cdot 10 - GCO \cdot \frac{MWCO_2}{MWCO} \\ &- GHC \cdot \frac{MWCO_2}{MWHC} - GC \cdot \frac{MWCO_2}{AWC} \end{aligned} \quad (2-13)$$

$$GH_2O = \frac{MWH_2O}{2 \cdot AWH} \cdot GFUEL \cdot ALF \cdot 10 - GHC \cdot \frac{MWH_2O}{MWHC} \quad (2-14)$$

$$GSO_2 = \frac{MWSO_2}{AWS} \cdot GFUEL \cdot GAM \cdot 10 \quad (2-15)$$

$$GHC = \frac{MWHC}{MVHC \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot HCW \cdot GEXHW \quad (2-16)$$

$$GC = \frac{1}{EXHDENS \cdot 1000} \cdot CW \cdot GEXHW \quad (2-17)$$

3.4.3 EXHDENS se calcula mediante la fórmula (2-42) dada en 3.6 de esta sección.

$$\begin{aligned} &G_{AIRW} \cdot TAU \cdot 10 + G_{FUEL} \cdot EPS \cdot 10 = \\ &\frac{GEXHW}{10^3 \cdot EXHDENS} \cdot \left(\frac{MWO_2 \cdot O_2W \cdot 10^4}{MVO_2} - \frac{AWO \cdot COW}{MVCO} + \frac{AWO \cdot NOW}{MVNO} \right. \\ &+ \frac{2 \cdot AWO \cdot NO_2W}{MVNO_2} - \frac{3 \cdot AWO \cdot HCW}{MVHC} - \frac{2 \cdot AWO \cdot CW}{AWC} \left. \right) + 10 \\ &\cdot GFUEL \cdot \left(\frac{ALF \cdot AWO}{2 \cdot AWH} + \frac{BET \cdot 2 \cdot AWO}{AWC} + \frac{GAM \cdot AWO}{AWS} \right) \end{aligned} \quad (2-18)$$

donde:

$$GEXHW = GAIR + GFUEL \quad (2-19)$$

3.4.4 El primer paréntesis se define como *factor 1* y el segundo como *factor 2*. (Véanse también las ecuaciones (2-4) y (2-5))

3.4.5 La masa del aire consumido y la masa de los gases de escape se pueden calcular utilizando las fórmulas siguientes

$$GAIRW = GFUEL \cdot \left(\frac{\frac{Factor1}{1000 \cdot EXHDENS} + 10 \cdot Factor2 - 10 \cdot EPS}{TAU \cdot 10 - \frac{Factor1}{1000 \cdot EXHDENS}} \right) \quad (2-20)$$

y por consiguiente:

$$GEXHW = GFUEL \cdot \left(\frac{\frac{Factor1}{1000 \cdot EXHDENS} + 10 \cdot Factor2 - 10 \cdot EPS}{TAU \cdot 10 - \frac{Factor1}{1000 \cdot EXHDENS}} + 1 \right) \quad (2-21)$$

3.5 Derivación del equilibrado del carbono si la combustión es incompleta

3.5.1 Entrada de carbono en g/h:

$$GFUEL \cdot BET \cdot 10 \quad (2-22)$$

3.5.2 Salida de carbono en g/h:

$$GCO_2 \cdot \frac{AWC}{MWCO_2} + GCO \cdot \frac{AWC}{MWCO} + GHC \cdot \frac{AWC}{MWHC} + GC \cdot \frac{AWC}{AWC} \quad (2-23)$$

3.5.3 Sobre la base de las definiciones y fórmulas siguientes, se calcularán los distintos componentes gaseosos en g/h en relación con los gases de escape húmedos (*GC* es el hollín en g/h).

$$GCO_2 = \frac{MWCO_2 \cdot 10}{MVCO_2 \cdot EXHDENS} \cdot CO_2W \cdot GEXHW \quad (2-24)$$

$$GCO = \frac{MWCO}{MVCO \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot COW \cdot GEXHW \quad (2-25)$$

$$GHC = \frac{MWHC}{MVHC \cdot EXHDENS \cdot 1000} \cdot HCW \cdot GEXHW \quad (2-26)$$

$$GC = \frac{1}{EXHDENS} \cdot CW \cdot GEXHW \quad (2-27)$$

3.5.4 Para un estado de equilibrio:

Entrada de carbono = Salida de carbono

$$GFUEL \cdot BET \cdot 10 = \frac{GEXHW \cdot AWC}{EXHDENS \cdot 1000} \cdot \left(\frac{CO_2W}{MVCO_2} \cdot 10^4 + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right) \quad (2-28)$$

3.5.5 Cálculo del flujo másico de los gases de escape sobre la base del equilibrado del carbono:

$$GEXHW = \frac{GFUEL \cdot BET \cdot EXHDENS \cdot 10^4}{AWC} \cdot \frac{1}{\left(\frac{CO2W \cdot 10^4}{MVCO2} + \frac{COW}{MVCO} + \frac{HCW}{MVHC} + \frac{CW}{AWC} \right)} \quad (2-29)$$

3.6 Cálculo de la composición volumétrica y la densidad de los gases de escape si la combustión es incompleta

$$VCO = COW \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW \quad (2-30)$$

$$VNO = NOW \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW \quad (2-31)$$

$$VNO2 = NO2W \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW \quad (2-32)$$

$$VHC = HCW \cdot 10^{-6} \cdot VEXHW \quad (2-33)$$

$$VH2O = \frac{\left(\frac{GAIRW \cdot NUE \cdot MVH2O}{MVH2O} + \frac{GFUEL \cdot ALF \cdot MVH2O}{2 \cdot AWH} \right)}{100} - VHC \quad (2-34)$$

$$VCO2 = \left(\frac{GAIRW \cdot CO2AIR}{1,293} + GFUEL \cdot BET \cdot \frac{MVCO2}{AWC} \right) \cdot \frac{1}{100} - VCO - VHC \quad (2-35)$$

donde CO2AIR = CO₂ concentración en el aire de la combustión (vol %).

$$TAU2 = \frac{GFUEL}{GAIRW} \cdot \left(ALF \cdot \frac{AWO}{2 \cdot AWH} + BET \cdot \frac{2 \cdot AWO}{AWC} + GAM \cdot \frac{2 \cdot AWO}{AWS} - 1 \right) \quad (2-36)$$

$$VO2 = \frac{GAIRW \cdot (TAU - TAU2)}{100} \cdot \frac{MVO2}{MWO2} + (1/2) \cdot (VHC + VCO) - (1/2) \cdot (VNO + VNO2) - \frac{CW \cdot GEXHW}{EXHDENS} \cdot \frac{2 \cdot AWO \cdot MVO2}{AWC \cdot MWO2} \quad (2-37)$$

$$VN2 = \frac{GAIRW \cdot ETA \cdot \frac{MVN2}{MVN2} + GFUEL \cdot DEL \cdot \frac{MVN2}{MVN2}}{100} - (1/2) \cdot VNO - (1/2) \cdot VNO2 \quad (2-38)$$

$$VSO2 = \frac{GFUEL \cdot GAM \cdot \frac{MYSO2}{AWS}}{100} \quad (2-39)$$

$$VEXHW = VH2O + VCO2 + VO2 + VN2 + VSO2 + VCO + VNO + VNO2 + VHC \quad (2-40)$$

$$VEXHD = VEXHW - VH2O \quad (2-41)$$

$$EXHDENS = GEXHW / VEXHW \quad (2-42)$$

$$KEXH = VEXHD / VEXHW \quad (2-43)$$

3.7 Programa para el cálculo del flujo másico de los gases de escape

3.7.1 Los resultados de los cálculos estequiométricos para el carbono y el oxígeno dan la composición total de los gases de escape y el flujo másico de los mismos, incluido su contenido de agua.

3.7.2 En general, las fórmulas del programa están basadas en gases de escape húmedos.

3.7.3 Cuando se midan concentraciones en seco (O_2 y CO_2), se utilizará el factor de corrección de seco a húmedo $KWEXH = K_{W,r}$.

3.7.4 El programa permite calcular el flujo másico de los gases de escape con un $KWEXH$ conocido y el $KWXH$ con un flujo másico de los gases de escape conocido. Cuando dichos valores sean desconocidos, se utilizará un valor inicial de $KWEXH = K_{W,r}$ y se realizará un cálculo iterativo, hasta que ambos valores se correspondan y dejen de cambiar.

3.7.5 Cuando se utilice la fórmula de equilibrio de masas sin el programa, deberá utilizarse el siguiente factor de corrección de seco a húmedo:

$$K_{W,r,3} = \left(\frac{100}{\frac{ALF \cdot MVH2O \cdot AWC \cdot (CO2D)}{BET \cdot MVC02 \cdot 2 \cdot AWH} + NUE \cdot 1,608 \cdot 100} \right) \quad (2-44)$$

3.7.6 He aquí la misma fórmula presentada de otra manera:

$$K_{W,r,3} = \left(\frac{100}{\frac{ALF \cdot 5,995 \cdot (CO2D)}{BET} + NUE \cdot 1,608 \cdot 100} \right) \quad (2-44a)$$

3.7.7 La fórmula general para el factor de corrección de seco a húmedo $KWEXH = K_{W,r}$ puede adoptar diversas formas.

3.7.8 Las fórmulas (2-44) y (2-44a), así como la fórmula (12) de 5.12.2.3 del presente Código no son absolutamente exactas, dado que la corrección del agua de combustión y del agua de admisión de aire no se añaden.

3.7.9 La fórmula exacta es:

$$K_{W,r,4} = \frac{GFUEL + GAIRD - \frac{GFUEL \cdot ALF \cdot MWH2O \cdot RhoEXHDAC}{200 \cdot AWH} \cdot \frac{RhoEXHDAC}{RhoH2O}}{GFUEL + GAIRD + \frac{Ha \cdot GAIRD}{1000} \cdot \frac{RhoEXHDAC}{RhoH2O}} \quad (2-45)$$

donde:

$RhoEXHDAC$ = densidad de los gases de escape con combustión por aire seco (kg/std m³)

$RhoH2O$ = densidad del vapor de agua (kg/std m³) ($MWH2O / MVH2O$)

3.7.10 Una comparación entre la fórmula (12) de 5.12.2.3 del presente Código y la (2-45) muestra diferencias mínimas del factor $K_{W,r}$.

Ejemplos:

Humedad g/kg	Desviaciones de $K_{W,r}$ (en comparación con (2-45)) %
10,0	0,2
25,0	0,5

3.7.11 La fórmula (2-45) no es muy práctica puesto que, en muchos casos, $RhoEXH DAC$ no es conocido y, al mismo tiempo, se excluye el uso del factor específico de combustible F_{FH} . Consiguientemente, habrán de utilizarse las fórmulas más prácticas (9), (10), (12) y (13) de los párrafos 5.12.2.1 al 5.12.3.5 del presente Código, cuyo error resultante (de < 0,2%, en la mayoría de los casos) puede considerarse como despreciable.

3.8 *Cálculo de los factores específicos del combustible FFD y FFW para los cálculos del flujo de los gases de escape*

$$FFD = \frac{(VEXHD - VAIRD)}{GFUEL} \quad (2-46)$$

$$FFW = \frac{(VEXHW - VAIRW)}{GFUEL} \quad (2-47)$$

3.8.1 Partiendo de las fórmulas siguientes:

$$VEXHW = VH2O + VCO2 + VO2 + VN2 + VSO2 \quad (2-48)$$

$$VEXHD = VCO2 + VO2 + VN2 + VSO2 \quad (2-49)$$

y, de conformidad con las fórmulas (2-34), (2-35), (2-37), (2-38) y (2-39), los factores pueden venir dados por las fórmulas (2-50) y (2-52) respectivamente:

$$\begin{aligned}
 FFW = & (ALF/100) \cdot \left(\frac{MVH2O}{2 \cdot AWH} - \frac{MVO2}{4 \cdot AWH} \right) + (BET/100) \\
 & \cdot \left(\frac{MVCO2}{AWC} - \frac{MVO2}{AWC} \right) + (GAM/100) \cdot \left(\frac{MVSO2}{AWS} - \frac{MVO2}{AWS} \right) \\
 & + (DEL/100) \cdot \left(\frac{MVN2}{MWN2} \right) + (EPS/100) \cdot \left(\frac{MVO2}{MWO2} \right) \quad (2-50)
 \end{aligned}$$

3.8.2 He aquí la misma fórmula con cifras:

$$FFW = 0,05557 \cdot ALF - 0,00011 \cdot BET - 0,00017 \cdot GAM + 0,0080055 \cdot DEL + 0,006998 \cdot EPS \quad (2-51)$$

3.8.3 La fórmula *FFD* es muy similar, siendo la única diferencia el término *ALF* relativo al agua:

$$FFD = -(ALF/100) \cdot \left(\frac{MVO2}{4 \cdot AWH} \right) + (BET/100) \cdot \left(\frac{MVC02}{AWC} - \frac{MVO2}{AWC} \right) + (GAM/100) \cdot \left(\frac{MVS02}{AWS} - \frac{MVO2}{AWS} \right) + (DEL/100) \cdot \left(\frac{MVN2}{MWN2} \right) + (EPS/100) \cdot \left(\frac{MVO2}{MWO2} \right) \quad (2-52)$$

3.8.4 He aquí la misma fórmula con cifras:

$$FFD = -0,05564 \cdot ALF - 0,00011 \cdot BET - 0,00017 \cdot GAM + 0,0080055 \cdot DEL = 0,006998 \cdot EPS \quad (2-53)$$

3.9 Derivación del factor específico del combustible F_{FH}

3.9.1 Utilizado para el cálculo de una concentración en húmedo a partir de una concentración en seco, de acuerdo con 5.12.2 del presente Código.

$$\text{conc (en húmedo)} = K_{w,r} \cdot \text{conc (en seco)} \quad (2-54)$$

Nota: En la siguiente derivación, los símbolos de las variables originalmente indicadas difieren de los presentados en las abreviaturas, debido a las designaciones de las variables en el programa mencionado, por ejemplo, $K_{w,r} = K_{WEXH} = KWEXH$.

3.9.2 La derivación de *FFH* toma en consideración el aire de admisión seco, dado que la fórmula (2-17) trata el agua del aire de admisión por separado, a saber:

$$KWEXH = \left(1 - FFH \cdot \frac{GFUEL}{GAIR} \right) \quad (2-55)$$

donde:

$$\text{conc (en húmedo)} \cdot VEXHW = \text{conc (en seco)} \cdot VEXHD \quad (2-56)$$

(Equilibrio volumétrico)

$$KWEXH = \frac{VEXHD}{VEXHW} = \frac{VEXHW - VH2O}{VEXHW} = 1 - \frac{VH2O}{VEXHW} = 1 - \frac{\frac{GH2O}{1000} \cdot EXHDENS}{\frac{MVH2O}{MVH2O} \cdot GEXHW} \quad (2-57)$$

y donde:

$$GH2O = \frac{MWH2O}{2 \cdot AWH} \cdot GFUEL \cdot ALF \cdot 10 \quad (2-58)$$

y:

$$GEXHW = GAIRW + GFUEL \quad (2-59)$$

$$\begin{aligned} KEXHW &= 1 - \frac{GFUEL \cdot ALF \cdot EXHDENS \cdot MVH2O}{200 \cdot AWH \cdot (GAIRW + GFUEL)} \\ &= 1 - \frac{GFUEL \cdot ALF \cdot EXHDENS \cdot MVH2O}{GAIRW \cdot 200 \cdot AWH \cdot \left(1 + \frac{GFUEL}{GAIRW}\right)} \end{aligned} \quad (2-60)$$

$$F_{FH} = FFH = \frac{ALF \cdot EXHDENS \cdot MVH2O}{200 \cdot AWH \cdot \left(1 + \frac{GFUEL}{GAIRW}\right)} \quad (2-61)$$

3.9.3 Esta fórmula universal, aplicable a todos los combustibles (cuyos gases de escape tengan una densidad conocida), puede simplificarse para los combustibles diesel de la manera siguiente:

$$F_{FH} = ALF \cdot 0,1448 \cdot \frac{1}{1 + \frac{GFUEL}{GAIRW}} \quad (2-62)$$

Apéndice 7

Lista de verificaciones de los parámetros del motor

(Véase 6.2.3.5 del Código Técnico sobre los NO_x)

1 Para algunos de los parámetros que figuran a continuación, existen varios métodos de reconocimiento posibles. En tal caso, a modo de orientación, bastará con aplicar uno cualquiera, o una combinación, de los métodos que figuran a continuación para demostrar que el motor cumple lo prescrito. Con la aprobación de la Administración y el respaldo del fabricante del motor, el armador podrá escoger el método que vaya a aplicar.

- .1 parámetro “regulación del avance de la inyección”
 - .1 posición de la leva de combustible (leva individual o cigüeñal si las levas no son ajustables),
 - opcional (según el proyecto): posición de una unión entre la leva y la transmisión de la bomba,
 - opcional para las bombas con manguito dosificador: índice VIT y posición de la leva o del tambor, o
 - otros dispositivos de manguitos dosificadores;
 - .2 comienzo de la distribución para algunas posiciones de mando de alimentación de combustible (medición dinámica de la presión);
 - .3 apertura de la válvula de inyección para algunos puntos de carga, por ejemplo, mediante una sonda *Hall* o dispositivo de aceleración;
 - .4 valores de funcionamiento que dependen de la carga en lo que respecta a la presión del aire de carga, la presión máxima de combustión, la temperatura del aire de carga, la temperatura de los gases de escape en relación con los gráficos que muestran la correlación con los NO_x. Además, se garantizará que la relación de compresión corresponde al valor de certificación inicial (véase 1.7);

Nota: Para evaluar la sincronización real, es necesario conocer los límites admisibles de emisión o incluso disponer de los gráficos que muestren cómo influye la regulación del avance en las emisiones de los NO_x, según los resultados de las mediciones en el banco de pruebas.

- .2 parámetro “tobera de inyección”
 - .1 número de identificación y especificación del elemento;
- .3 parámetro “bomba de inyección”
 - .1 número de identificación del elemento (especificar el proyecto del émbolo y del barril);
- .4 parámetro “leva de combustible”
 - .1 número de identificación del elemento (especificar su forma);
 - .2 principio y fin de la distribución para determinada posición de la alimentación de combustible (medición dinámica de la presión);
- .5 parámetro “presión de inyección”
 - .1 sólo para sistemas de travesaño común: presión en función de la carga en el travesaño, gráfico de la correlación con los NO_x;
- .6 parámetro “cámara de combustión”
 - .1 números de identificación de los elementos de la culata y cabeza del pistón;
- .7 parámetro “relación de compresión”
 - .1 comprobar el huelgo real;
 - .2 comprobar los suplementos en el vástago o biela del pistón;
- .8 parámetro “construcción y tipo de turbosoplante”
 - .1 modelo y especificación (números de identificación);
 - .2 presión del aire de carga en función de la carga, gráfico de la correlación con los NO_x;
- .9 parámetro “refrigerante del aire de carga, precalentamiento del aire de carga”
 - .1 modelo y especificación;
 - .2 temperatura del aire de carga en función de la carga, corregida según las condiciones de referencia, gráfico de la correlación con los NO_x;
- .10 parámetro “reglaje de válvulas” (sólo en motores de cuatro tiempos con cierre de válvula de admisión antes de BDC)
 - .1 posición de la leva;
 - .2 comprobación del reglaje;

- .11 parámetro “inyección de agua” (para evaluación: gráfico de la influencia sobre los NO_x)
 - .1 consumo de agua en función de la carga (vigilancia);
- .12 parámetro “combustible emulsionado” (para evaluación: gráfico de la influencia sobre los NO_x)
 - .1 posición de la alimentación de combustible en función de la carga (vigilancia);
 - .2 consumo de agua en función de la carga (vigilancia);
- .13 parámetro “recirculación de los gases de escape” (para evaluación: gráfico de la influencia sobre los NO_x)
 - .1 flujo másico de los gases de escape recirculados en función de la carga (vigilancia);
 - .2 concentración de CO₂ en la mezcla de aire fresco y gases de escape recirculados, es decir, el aire de barrido (vigilancia);
 - .3 concentración de O₂ en el aire de barrido (vigilancia);
- .14 parámetro “reducción catalítica selectiva” (RCS)
 - .1 flujo másico en función de la carga del agente reductor (vigilancia) y comprobaciones adicionales periódicas a discreción después de RCS (para evaluación: gráfico de la influencia sobre los NO_x).

2 En cuanto a los motores con reducción catalítica selectiva (RCS) sin control de retroalimentación, la medición de los NO_x con carácter opcional (comprobación o vigilancia periódica) es útil para verificar si la eficacia de la reducción catalítica selectiva corresponde aún a la eficacia en el momento de la certificación, independientemente de que las condiciones ambientales o la calidad del combustible hayan producido diferentes emisiones brutas.