ENMIENDAS AL CÓDIGO TÉCNICO RELATIVO AL CONTROL DE LAS EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO DE LOS MOTORES DIÉSEL MARINOS

(Código Técnico sobre los NO_x 2008)

(Resolución MEPC.177(58))

RESOLUCIÓN MEPC.177(58)

Adoptada el 10 de octubre de 2008

ENMIENDAS AL CÓDIGO TÉCNICO RELATIVO AL CONTROL DE LAS EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO DE LOS MOTORES DIÉSEL MARINOS

(Código Técnico sobre los NO_x 2008)

EL COMITÉ DE PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO,

RECORDANDO el artículo 38 a) del Convenio constitutivo de la Organización Marítima Internacional, artículo que trata de las funciones del Comité de Protección del Medio Marino (el Comité) conferidas por los convenios internacionales relativos a la prevención y contención de la contaminación del mar,

TOMANDO NOTA del artículo 16 del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973 (en adelante denominado "Convenio de 1973"), el artículo VI del Protocolo de 1978 relativo al Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973 (en adelante denominado "Protocolo de 1978"), y el artículo 4 del Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (en adelante denominado "Protocolo de 1997"), en los que conjuntamente se especifica el procedimiento para enmendar el Protocolo de 1997 y se confiere al órgano pertinente de la Organización la función de examinar y adoptar enmiendas al Convenio de 1973, modificado por los Protocolos de 1978 y de 1997,

TOMANDO NOTA TAMBIÉN de que, en virtud del Protocolo de 1997, el Anexo VI, titulado "Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques", (en adelante denominado "Anexo VI") se agrega al Convenio de 1973,

TOMANDO NOTA ADEMÁS de la regla 13 del Anexo VI del Convenio MARPOL, que confiere carácter obligatorio al Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos (Código Técnico sobre los NO_x) en virtud de dicho anexo,

HABIENDO EXAMINADO el proyecto de enmiendas al Código Técnico sobre los NO_x,

1. ADOPTA, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 16 2) d) del Convenio de 1973, las enmiendas al Código Técnico sobre los NO_x cuyo texto figura en el anexo de la presente resolución;

2. DECIDE, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 16 2) f) iii) del Convenio de 1973, que las enmiendas se considerarán aceptadas el 1 de enero de 2010, salvo que, con anterioridad a esa fecha, un tercio cuando menos de las Partes, o aquellas Partes cuyas flotas mercantes combinadas representen como mínimo el 50 % del tonelaje bruto de la flota mercante mundial, hayan notificado a la Organización que recusan las enmiendas;

3. INVITA a las Partes a que tomen nota de que, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 16 2) g) ii) del Convenio de 1973, dichas enmiendas entrarán en vigor el 1 de julio de 2010, una vez aceptadas de conformidad con lo estipulado en el párrafo 2 anterior;

4. PIDE al Secretario General que, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 16 2) e) del Convenio de 1973, remita a todas las Partes en el Convenio de 1973 modificado por los Protocolos de 1978 y de 1997 copias certificadas de la presente resolución y del texto de las enmiendas que figura en el anexo;

5. PIDE TAMBIÉN al Secretario General que remita copias de la presente resolución y de su anexo a los Miembros de la Organización que no son Partes en el Convenio de 1973 modificado por los Protocolos de 1978 y de 1997; y

6. INVITA a las Partes en el Anexo VI del Convenio MARPOL y otros Gobiernos Miembros a que pongan las enmiendas al Código Técnico sobre los NO_x en conocimiento de propietarios de buques, armadores, constructores de buques, fabricantes de motores diésel marinos y cualquier otro grupo interesado.

Índice

Página

INTRODUCCIÓN 5

Código Técnico sobre los NO_x 2008 5

Abreviaturas, subíndices y símbolos 7

Capítulo 1 – GENERALIDADES 10

1.1 Finalidad 10
1.2 Ámbito de aplicación 10
1.3 Definiciones 10

Capítulo 2 – RECONOCIMIENTOS Y CERTIFICACIÓN 13

2.1 Generalidades 13
2.2 Procedimientos para la certificación previa de un motor 14
2.3 Procedimientos para la certificación de un motor 16
2.4 Expediente técnico y procedimientos de verificación de los NO_x a bordo 18

Capítulo 3 – NORMAS RELATIVAS A LA EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO 20

3.1 Límites máximos admisibles de emisión de NO_x de los motores diésel marinos 20
3.2 Ciclos de ensayo y factores de ponderación que procede aplicar 20

Capítulo 4 – HOMOLOGACIÓN DE MOTORES FABRICADOS EN SERIE: FAMILIA DE MOTORES Y GRUPO DE MOTORES 23

4.1 Generalidades 23
4.2 Documentación 23
4.3 Aplicación del concepto de familia de motores 23
4.4 Aplicación del concepto de grupo de motores 27

Capítulo 5 – PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR LAS EMISIONES DE NO_x EN UN BANCO DE PRUEBAS 31

5.1 Generalidades 31
5.2 Condiciones de ensayo 32
5.3 Fueloils de ensayo 34
5.4 Equipo de medición y datos que deben medirse 35
5.5 Determinación del flujo de gases de escape 35
5.6 Diferencias admisibles de los instrumentos de medición de los parámetros del motor y otros parámetros esenciales 36
5.7 Analizadores para la determinación de los componentes gaseosos 36
5.8 Calibración de los instrumentos analíticos 36
5.9 Ensayo 36

5.10 Informe relativo al ensayo 39
5.11 Evaluación de los datos relativos a las emisiones gaseosas 39
5.12 Cálculo de las emisiones gaseosas 39

Capítulo 6 – PROCEDIMIENTOS PARA DEMOSTRAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE EMISIÓN DE NO_x A BORDO 44

6.1 Generalidades 44
6.2 Método de verificación de los parámetros del motor 44
6.3 Método de medición simplificado 47
6.4 Método directo de medición y vigilancia 51

Capítulo 7 – CERTIFICACIÓN DE UN MOTOR EXISTENTE 57

APÉNDICES

Apéndice I Modelo de Certificado EIAPP 58

Apéndice II Diagramas de operaciones para el reconocimiento y la certificación de motores diésel marinos 61

Apéndice III Especificaciones relativas a los analizadores que se utilicen para determinar los componentes gaseosos de las emisiones de los motores diésel marinos 65

Apéndice IV Calibración de los instrumentos de análisis y medición 70

Apéndice V Informe relativo al ensayo del motor de referencia y datos del ensayo 83
Sección 1 – Informe relativo al ensayo del motor de referencia y datos de ensayo 83
Sección 2 – Datos relativos al ensayo del motor de referencia que han de incluirse en el expediente técnico 91

Apéndice VI Cálculo del flujo másico de los gases de escape (método de equilibrado del carbono) 94

Apéndice VII Lista de comprobación para un método de verificación de los parámetros del motor 96

Apéndice VIII Implantación del método directo de medición y vigilancia 99

Introducción

Código Técnico sobre los NO_x 2008

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 diésel marinos (Código Técnico sobre los NO_x). A partir de la entrada en vigor, el 19 de mayo de 2005, del Anexo VI del Convenio MARPOL, titulado "Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques", todos los motores diésel marinos a los que se aplique la regla 13 de ese anexo han de ajustarse a lo dispuesto en el presente Código. El MEPC 53, celebrado en julio de 2005, convino en que el Anexo VI del Convenio MARPOL y el Código Técnico sobre los NO_x fueran objeto de una revisión, que se concluyó en el MEPC 58, en octubre de 2008. La presente versión del Código Técnico sobre los NO_x, en adelante denominado "el Código", es el resultado de ese proceso.

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 óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), y su cuantía depende de la temperatura de la llama o combustión y de la cantidad de nitrógeno orgánico, si lo hay, procedente del combustible. La formación de NO_x 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 diésel. En otras palabras, cuanto más elevada sea la temperatura de combustión (por ejemplo, presión máxima elevada, alto índice de compresión, caudal elevado de suministro de combustible, etc.), mayor será la cantidad de NO_x que se forme. En general, los motores diésel de bajo régimen producen más NO_x que los de alto régimen. Los NO_x tienen un efecto negativo en el medio ambiente y dan lugar a procesos de acidificación, formación de ozono troposférico y de enriquecimiento de nutrientes, y tienen también efectos adversos para la salud en todo el mundo.

El presente Código tiene por objeto brindar procedimientos obligatorios de prueba, reconocimiento y certificación de los motores diésel marinos que permitan a los fabricantes de motores, propietarios de buques y administraciones tener la seguridad de que todos los motores diésel 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. Se ha reconocido la dificultad de establecer con precisión el verdadero promedio ponderado de NO_x que emiten los motores diésel 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 diésel marinos de propulsión y auxiliares en un banco de pruebas en el que puedan realizarse ensayos precisos 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 precisión y el objetivo de la misma será inferir o deducir el comportamiento del motor en cuanto a las emisiones y confirmar que dicho motor se ha instalado y se 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 y símbolos

En las tablas 1, 2, 3 y 4 que figuran a continuación se resumen las abreviaturas, los subíndices y los símbolos utilizados en el presente Código, incluidas las especificaciones para los instrumentos de análisis que figuran en el apéndice III, las prescripciones sobre calibración de los instrumentos analíticos contenidas en el apéndice IV, las fórmulas para calcular el flujo másico de los gases de escape que figuran en el capítulo 5 y el apéndice VI del presente Código, y los símbolos utilizados con respecto a los datos para los reconocimientos de verificación a bordo indicados en el capítulo 6.

.1 Tabla 1: símbolos utilizados en el Código para representar los componentes químicos de las emisiones de gas de los motores diésel y los gases de calibración o de calibración de fondo de escala;

.2 Tabla 2: abreviaturas de los analizadores utilizados para medir las emisiones de gas de los motores diésel, según lo especificado en el apéndice III del presente Código;

.3 Tabla 3: símbolos y subíndices de los términos y variables utilizados en los capítulos 5 y 6 y en los apéndices IV y VI del presente Código; y

.4 Tabla 4: símbolos de la composición del combustible utilizados en los capítulos 5 y 6 y en el apéndice VI del presente Código.

Tabla 1
Símbolos y abreviaturas de los componentes químicos

Símbolo	**Definición**
CH_4	Metano
C_3H_8	Propano
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
HC	Hidrocarburos
H_2O	Agua
NO	Óxido nítrico
NO_2	Dióxido de nitrógeno
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O_2	Oxígeno

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

CLD	Detector quimioluminiscente
ECS	Sensor electroquímico
HCLD	Detector quimioluminiscente calentado
HFID	Detector de ionización de llama calentado
NDIR	Analizador de infrarrojos no dispersivos
PMD	Detector paramagnético
ZRDO	Sensor de dióxido de circonio

Tabla 3
Símbolos y subíndices de los términos y variables
(véanse los capítulos 5 y 6 y los apéndices IV y VI del presente Código)

Símbolo	Término	Unidad
A/F_{st}	Relación estequiométrica aire/combustible	1
c_x	Concentración en el gas de escape (con el sufijo de la denominación del componente, d=seco o w=húmedo)	ppm %(V/V)
E_{CO2}	Efecto de mitigación del CO_2 del analizador de NO_x	%
E_{H2O}	Efecto de mitigación del agua del analizador de NO_x	%
E_{NOx}	Eficacia del convertidor de NO_x	%
E_{O2}	Factor de corrección del analizador de oxígeno	1
λ	Factor de aire sobrante (kg de aire seco / (kg de combustible·A/F_{st}))	1
f_a	Parámetro de las condiciones de ensayo	1
f_c	Factor de carbono	1
f_{fd}	Factor específico del combustible para el cálculo del flujo de gases de escape en seco	1
f_{fw}	Factor específico del combustible para el cálculo del flujo de gases de escape en húmedo	1
H_a	Humedad absoluta del aire de admisión (g de agua/kg de aire seco)	g/kg
H_{SC}	Humedad del aire de carga	g/kg
i	Subíndice que indica un modo particular	1
k_{hd}	Factor de corrección de humedad de los NO_x de los motores diésel	1
k_{wa}	Factor de corrección de seco a húmedo del aire de admisión	1
k_{wr}	Factor de corrección de seco a húmedo de los gases de escape brutos	1
n_d	Régimen del motor	min^{-1}
n_{turb}	Régimen de la turbosoplante	min^{-1}
$\%O_2I$	Porcentaje de interferencia de oxígeno del analizador de HC	%
p_a	Presión del vapor de saturación del aire de admisión del motor, determinada mediante un valor para la temperatura del aire de admisión en la misma ubicación física que las mediciones para p_b y R_a	kPa
p_b	Presión barométrica total	kPa
p_C	Presión del aire de carga	kPa
p_r	Presión del vapor de agua después de someter el sistema de análisis a un baño de refrigeración	kPa
p_x	Presión atmosférica en seco calculada mediante la fórmula siguiente: $p_x = p_b - R_a \cdot p_a / 100$	kPa
p_{SC}	Presión del vapor de saturación del aire de carga	kPa

Símbolo	Término	Unidad
P	Potencia al freno no corregida	kW
P_{aux}	Potencia total declarada absorbida por los sistemas auxiliares montados para el ensayo y no prescritos por la norma ISO 14396	kW
P_m	Potencia máxima medida o declarada al régimen de ensayo del motor en las condiciones de ensayo	kW
q_{mad}	Caudal másico de aire de admisión en seco	kg/h
q_{maw}	Caudal másico de aire de admisión en húmedo	kg/h
q_{mew}	Caudal másico de gases de escape en húmedo	kg/h
q_{mf}	Caudal másico de combustible	kg/h
q_{mgas}	Caudal másico de las emisiones de un gas particular	g/h
R_a	Humedad relativa del aire de admisión	%
r_h	Factor de respuesta de los hidrocarburos	1
ρ	Densidad	kg/m^3
s	Posición del mando de alimentación de combustible	
T_a	Temperatura del aire de admisión determinada en la entrada de aire del motor	K
T_{cactin}	Temperatura del enfriador del aire de carga en la admisión de refrigerante	°C
$T_{cactout}$	Temperatura del enfriador del aire de carga en la salida de refrigerante	°C
T_{Exh}	Temperatura de los gases de escape	°C
T_{Fuel}	Temperatura del fueloil	°C
T_{Sea}	Temperatura del agua de mar	°C
T_{SC}	Temperatura del aire de carga	K
T_{SCRef}	Temperatura de referencia del aire de carga	K
u	Relación entre la densidad de los componentes de los gases de escape y la densidad de los gases de escape	1
W_F	Coeficiente de ponderación	1

Tabla 4
Símbolos de la composición del combustible

Símbolo	Definición
w_{ALF}	Contenido de H del combustible (% masa/masa)
w_{BET}	Contenido de C del combustible (% masa/masa)
w_{GAM}	Contenido de S del combustible (% masa/masa)
w_{DEL}	Contenido de N del combustible (% masa/masa)
w_{EPS}	Contenido de O del combustible (% masa/masa)
α	Relación molar (H/C)

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Finalidad

1.1.1 El presente Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos, en adelante llamado "el Código", tiene por objeto establecer normas para la inspección, el reconocimiento y la certificación de los motores diésel 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. Todas las reglas a las que se hace referencia en el presente Código son reglas del Anexo VI.

1.2 Ámbito de aplicación

1.2.1 El presente Código se aplica a todos los motores diésel marinos de potencia de salida superior a 130 kW instalados, o proyectados y destinados a ser instalados, a bordo de cualquier buque regido por el Anexo VI al que se aplique la regla 13. En cuanto a las prescripciones sobre reconocimiento y certificación que figuran en la regla 5 del Anexo VI, el presente Código sólo trata de aquellas que debe cumplir el motor para respetar el límite de emisión de NO_x aplicable.

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 el límite aplicable de emisión de NO_x de la regla 13 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 y de los reconocimientos intermedios, anuales y de renovación, así como de cualquier otro reconocimiento que se requiera.

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 NO_2 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 diésel marino:

.1 tratándose de motores instalados en buques construidos el 1 de enero de 2000 o posteriormente, toda modificación del motor que pueda hacer que sus emisiones superen las normas de emisión aplicables estipuladas en la regla 13. 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 de 2000, toda modificación del motor que haga que sus características de emisión aumenten con relación a sus características originales establecidas mediante el método simplificado de medición 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). La instalación de un método aprobado certificado de conformidad con lo dispuesto en la regla 13.7.1.1, o la certificación de conformidad con lo dispuesto en la regla 13.7.1.2, no se considera modificación apreciable a efectos de la aplicación de la regla 13.2 del Anexo VI.

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 EIAPP:* 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:* la definida en el párrafo 5) del artículo 2 del Convenio MARPOL 73.

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

1.3.10 *Motor diésel marino:* todo motor alternativo de combustión interna que funcione con combustible líquido o mixto y al que se aplique la regla 13, incluidos los sistemas de sobrealimentación o mixtos, en caso de que se empleen.

Cuando esté previsto que el motor funcione normalmente en la modalidad de gas, es decir, siendo gas el combustible principal con sólo una pequeña cantidad de combustible líquido piloto, las prescripciones de la regla 13 han de cumplirse únicamente para esa modalidad de funcionamiento. En caso de restricción en el suministro de gas debida a una avería, quedará exento el funcionamiento con combustible líquido puro durante el trayecto del buque hasta el siguiente puerto más apropiado para la reparación de dicha avería.

1.3.11 *Potencia nominal:* la potencia nominal máxima continua especificada en la placa de identificación y en el expediente técnico de todo motor diésel marino al que se apliquen la regla 13 y el presente Código.

1.3.12 *Régimen nominal:* las revoluciones por minuto del cigüeñal a las cuales el motor desarrolla su potencia nominal, según figura en la placa de identificación del motor diésel marino y en su expediente técnico.

1.3.13 *Potencia al freno:* la potencia observada y 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 acciona 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 la sección 2.4 del presente Código.

1.3.16 *Registro de los parámetros del motor:* el documento utilizado junto con el método de verificación de los parámetros del motor para hacer 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.

1.3.17 *Método aprobado:* el método aprobado para un motor particular o una gama de motores que, al aplicarse al motor, garantizará que éste cumple el límite aplicable de emisión de NO_x estipulado en la regla 13.7.

1.3.18 *Motor existente*: motor sujeto a lo dispuesto en la regla 13.7.

1.3.19 *Expediente de método aprobado:* documento que describe un método aprobado y sus medios de reconocimiento.

Capítulo 2

Reconocimientos y certificación

2.1 Generalidades

2.1.1 Salvo que en el Código se permita expresamente lo contrario, todo motor diésel 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 al límite aplicable de emisión de NO_x indicado en la regla 13. 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 instalar el motor pero antes de que éste entre en servicio. Este reconocimiento garantizará que el motor, una vez instalado a bordo, con todos los ajustes o modificaciones efectuados desde la certificación previa, si procede, se ajusta al límite aplicable de emisión de NO_x de la regla 13. Este reconocimiento, como parte del reconocimiento inicial del buque, podrá conducir a la expedición del Certificado 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 intermedios, anuales y de renovación, que se llevarán a cabo como parte de los reconocimientos del buque prescritos en la regla 5, a fin de garantizar que el motor sigue cumpliendo plenamente las prescripciones del presente Código;

.4 un reconocimiento inicial de certificación del motor que se realizará a bordo cada vez que el motor sea objeto de una transformación importante, tal como se define ésta en la regla 13, a fin de garantizar que el motor se ajusta al límite aplicable de emisión de NO_x estipulado en la regla 13. Esto dará lugar a la expedición, si procede, de un Certificado EIAPP y a la modificación del Certificado IAPP.

2.1.2 A fin de cumplir las diversas 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 métodos previstos en el presente Código para realizar las mediciones, cálculos, ensayos o verificaciones relativos a las emisiones de NO_x del motor, a saber:

.1 ensayo en 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 todas las prescripciones del capítulo 5 relativas a los ensayos en banco de pruebas;

.3 método de verificación a bordo de los parámetros del motor, utilizando los datos de los elementos, los reglajes del motor y los datos de rendimiento del motor especificados en el expediente técnico, para confirmar el cumplimiento en los reconocimientos iniciales, intermedios, anuales y de renovación de los motores

con certificación previa o de los motores cuyos elementos, reglajes y valores de funcionamiento fundamentales desde el punto de vista de los NO_x 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 intermedios, anuales y de renovación, o la confirmación de motores con certificación previa en los reconocimientos de certificación inicial, de conformidad con 6.3 cuando se requiera; o

.5 método directo de medición y vigilancia a bordo para confirmar el cumplimiento sólo en los reconocimientos intermedios, anuales y de renovación, de conformidad con 6.4.

2.2 Procedimientos para la certificación previa de un motor

2.2.1 Con anterioridad a la instalación a bordo, todo motor diésel marino (un motor particular), excepto los autorizados en 2.2.2 y 2.2.4, será objeto de:

.1 ajustes para cumplir el límite aplicable de emisión 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

.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 motores de referencia de una familia o grupo 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 un banco de pruebas;

.2 verifique que todos los motores sometidos a ensayo, incluidos los que se vayan a entregar como parte de una familia o grupo de motores, si procede, cumplen el límite aplicable de emisión de NO_x; y

.3 verifique, si procede, que el motor o motores de referencia seleccionados representan a la familia o grupo 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 un 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 banco de pruebas especificados en el capítulo 5 del presente Código. Tal reconocimiento podrá aceptarse cuando se trate de un motor particular 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. En el caso de los motores sometidos a una prueba de certificación a bordo para que se les expida un Certificado EIAPP, se aplican los mismos procedimientos que si el motor hubiera recibido certificación previa en un banco de pruebas.

2.2.5 Dispositivos reductores de NO_x

.1 Cuando un dispositivo reductor de NO_x haya de mencionarse en el Certificado EIAPP, dicho dispositivo tendrá que constar como elemento del motor y su presencia se consignará en el expediente técnico. El motor se someterá al ensayo de certificación previa con el dispositivo reductor de NO_x instalado.

.2 En los casos en que se haya instalado un dispositivo reductor de NOx por no cumplirse el valor de las emisiones prescrito en el ensayo de certificación previa 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 al límite aplicable 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 medición descrito en 6.3. En ningún caso se concederán los márgenes establecidos en 6.3.11.

.3 Cuando, de conformidad con 2.2.5.2, la eficacia del dispositivo reductor de NO_x se verifique mediante el método simplificado de medición, el informe de ese ensayo se acompañará, como documento adjunto, al informe relativo al ensayo de certificación previa que demostraba que sólo el motor incumplía el valor de emisiones prescrito. Ambos informes se presentarán a la Administración y los datos, referidos a los dos ensayos, se incluirán, según se indica en 2.4.1.5, en el expediente técnico del motor.

.4 El método simplificado de medición, utilizado como parte del proceso para demostrar el cumplimiento de conformidad con 2.2.5.2, sólo podrá aceptarse respecto del motor y el dispositivo reductor de NO_x con los que demostró su eficacia, pero no para la certificación de una familia o un grupo de motores.

.5 En los dos casos que se indican en 2.2.5.1 y 2.2.5.2, el dispositivo reductor de NO_x se mencionará en el Certificado EIAPP, junto con el valor de las emisiones obtenido con el dispositivo en funcionamiento y todas las demás anotaciones que prescriba la Administración. En el expediente técnico del motor también se indicarán los procedimientos de verificación a bordo de los NO_x para el dispositivo a fin de cerciorarse de éste que funciona correctamente.

.6 No obstante lo dispuesto en 2.2.5.3 y 2.2.5.4, la Administración podrá aprobar un dispositivo de reducción de NO_x teniendo en cuenta las directrices que elaborará la Organización.

2.2.6 Cuando, debido a modificaciones en el proyecto de los elementos, sea necesario establecer una nueva familia de motores o un nuevo grupo de motores, pero se carezca de un motor de referencia, el constructor de motores podrá solicitar a la Administración el uso de los datos de ensayo de un motor de referencia obtenidos previamente, modificados en cada modalidad específica del ciclo de ensayos aplicable, con el objeto de tener en cuenta las modificaciones resultantes en los valores de emisiones de NO_x. En dichos casos, y de conformidad con las prescripciones de los párrafos 4.4.6.1, 4.4.6.2 y 4.4.6.3, el motor utilizado para determinar los datos de modificación de las emisiones se corresponderá con el motor de referencia utilizado previamente. Cuando se vaya a modificar más de un elemento, se demostrará el resultado del efecto combinado de dichas modificaciones mediante una sola serie de resultados de ensayo.

2.2.7 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 motores de referencia y a todo motor emparentado que se fabrique con dicha certificación, para que los acompañe durante toda su vida útil mientras estén instalados en buques bajo la autoridad de esa Administración.

2.2.8 *Expedición de certificados por la Administración del país en que se construya el motor*

.1 Cuando un motor se fabrique fuera del país de la Administración del buque en el que vaya a instalarse, 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 aplicables de la regla 13 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 Tan pronto como sea posible, se transmitirá copia del certificado o certificados y del informe relativo al reconocimiento a la Administración que lo ha solicitado.

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

2.2.9 En el diagrama pertinente del apéndice II del presente Código se ofrecen orientaciones con respecto al reconocimiento de certificación previa y a la certificación de los motores diésel marinos que se describen en el capítulo 2 del presente Código. En caso de discrepancias, prevalecerá el texto del capítulo 2.

2.2.10 En el apéndice I del presente Código se adjunta un modelo de Certificado EIAPP.

2.3 Procedimientos para la certificación de un motor

2.3.1 En el caso de los motores que no se hayan ajustado o modificado con respecto a las especificaciones del fabricante, bastará con disponer 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 expedirse el Certificado IAPP, el motor será inspeccionado 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 al límite aplicable.

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

2.3.5 Cuando se haya instalado un dispositivo reductor de NO_x y éste sea necesario para observar los límites de emisión de NO_x, una de las opciones que permite verificar fácilmente el cumplimiento de la regla 13 es el método directo de medición y vigilancia de conformidad con 6.4. 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.

2.3.6 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 información suficiente que permita demostrar fácilmente que el consumo de dichas sustancias adicionales es compatible con el cumplimiento de los límites aplicables de emisión de NO_x.

2.3.7 Cuando se utilice el método de verificación de los parámetros del motor de conformidad con 6.2 para verificar el cumplimiento en el caso de que se lleven a cabo ajustes o modificaciones del motor después de su certificación previa, tales ajustes o modificaciones se consignarán en el registro de los parámetros del motor.

2.3.8 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 al límite aplicable de emisión de NO_x prescrito en la regla 13. En tal caso, siempre y cuando se cumplan todas las demás prescripciones aplicables del Anexo VI, se expedirá al buque un Certificado IAPP.

2.3.9 Si se efectúa cualquier ajuste o modificación que exceda de los límites aprobados que se indican en el expediente técnico, sólo podrá expedirse el Certificado IAPP tras verificar que el nivel total de las emisiones de NO_x se sitúa dentro de los límites prescritos mediante: una medición simplificada de conformidad con 6.3, 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 acarrean una superación del límite aplicable de emisión de NO_x. De igual modo, en los reconocimientos posteriores al reconocimiento inicial del motor podrá utilizarse también el método directo de medición y vigilancia, de conformidad con 6.4, que haya aprobado la Administración.

2.3.10 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, si procede, y sólo podrá limitarse el reconocimiento si cabe esperar que todos los demás cilindros o motores funcionen del mismo modo que el motor o cilindro sometidos a reconocimiento. Como alternativa al examen de los elementos instalados, la Administración podrá realizar esa parte del reconocimiento con las piezas de repuesto que se lleven a bordo, siempre que éstas sean representativas de los elementos instalados.

2.3.11 En los diagramas del apéndice II del presente Código se ofrecen orientaciones para el reconocimiento y la certificación de los motores diésel marinos en los reconocimientos inicial, anual, intermedio y de renovación que se describen en el capítulo 2 del presente Código. En caso de discrepancias prevalecerá el texto del capítulo 2.

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 2.3.4 contendrá, como mínimo, la siguiente información:

.1 indicación de aquellos elementos, reglajes y valores de funcionamiento del motor que inciden en sus emisiones de NO_x, incluidos cualesquiera sistemas o dispositivos reductores 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, incluidos el régimen nominal y la potencia nominal;

.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, de conformidad con lo estipulado en el capítulo 6;

.5 una copia de los datos pertinentes de ensayo del motor de referencia, según figura en la sección 2 del apéndice V del presente Código;

.6 si procede, la designación y las restricciones aplicables a un motor que forme parte de una familia o grupo de motores;

.7 las especificaciones de los elementos y piezas de repuesto que permitirán, cuando dichos elementos y piezas se utilicen en el motor con arreglo a ellas, que el motor siga ajustándose al límite aplicable de emisión de NO_x; y

.8 el Certificado EIAPP, según proceda.

2.4.2 Como regla general, los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo deberán permitir que el inspector determine fácilmente si el motor sigue cumpliendo las prescripciones aplicables de la regla 13. Al mismo tiempo, dichos procedimientos no serán excesivamente complicados, para no retrasar indebidamente al buque y para que el inspector no precise un conocimiento profundo de las características del motor de que se trate ni dispositivos de medición especiales no disponibles a bordo.

2.4.3 El procedimiento de verificación de los NO_x a bordo será uno de los siguientes métodos:

.1 método de verificación de los parámetros del motor de conformidad con 6.2, para verificar 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 simplificado de medición de conformidad con 6.3; o

.3 método directo de medición y vigilancia de conformidad con 6.4.

2.4.4 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 al límite de emisión de NO_x aplicable durante cualquiera de los reconocimientos de verificación a bordo prescritos, excepto en un reconocimiento inicial del motor a bordo, podrá aplicarse cualquiera de los tres procedimientos de verificación de los NO_x a bordo que se estipulan en 6.1. No obstante, los procedimientos asociados con el método aplicado han de contar con la aprobación de la Administración. Si el método difiere del método de verificación estipulado en el expediente técnico originalmente aprobado, será necesario añadir el procedimiento del método como una enmienda al expediente técnico, o bien adjuntarlo como alternativa al procedimiento recogido en dicho expediente. A partir de ese momento, el propietario del buque podrá decidir cuál de los métodos aprobados en el expediente técnico ha de utilizarse para demostrar el cumplimiento.

2.4.5 Además del método estipulado por el fabricante del motor y recogido en el expediente técnico aprobado por la Administración para la certificación inicial del motor, el propietario del buque podrá optar por la medición directa de las emisiones de NO_x de conformidad con 6.4. Tales datos podrán 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 una vigilancia continua y el almacenamiento de los datos, los cuales habrán de ser recientes (de los últimos 30 días) y haberse obtenido siguiendo los procedimientos especificados en el presente Código. Estos registros se conservarán a bordo durante tres meses a efectos de la verificación por una Parte de conformidad con lo dispuesto en la regla 10. La información se corregirá asimismo en función de 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 aprobados que figuren en el manual de funcionamiento de a bordo. Si se han instalado dispositivos de tratamiento de los gases de escape que incidan en las emisiones de NO_x, el punto o puntos de medición podrán estar situados más abajo de dichos dispositivos.

Capítulo 3

Normas relativas a la emisión de óxidos de nitrógeno

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

3.1.1 Los valores límite máximos admisibles de emisión de NO_x se dan en los párrafos 3, 4, 5.1.1 y 7.4 de la regla 13, según cada caso. Las emisiones totales ponderadas de NO_x, medidas y calculadas, redondeadas a una cifra decimal, de conformidad con los procedimientos que figuran en el presente Código, deberán ser iguales o inferiores al valor calculado aplicable que corresponda al régimen nominal del motor.

3.1.2 Cuando el motor funcione con fueloils de ensayo, de conformidad con 5.3, se determinará la emisión total de óxidos de nitrógeno (calculada como emisión total ponderada de NO_2) mediante los ciclos de ensayo y métodos de medición pertinentes especificados en el presente Código.

3.1.3 En el Certificado EIAPP del motor se indicará el valor límite de las emisiones de gases de escape obtenido a partir de las fórmulas incluidas en los párrafos 3, 4 ó 5.1.1 de la regla 13, según proceda, junto con el valor real calculado de las mismas, redondeado a un decimal. Si un motor pertenece a una familia de motores o a un grupo de motores, el valor de las emisiones del motor de referencia pertinente se compara con el valor límite aplicable a esa familia o grupo de motores. El valor límite que figure aquí será el valor límite para la familia o grupo de motores, basado en el régimen más alto del motor que se incluya en dicha familia o grupo de motores, de conformidad con los párrafos 3, 4 o 5.1.1 de la regla 13, independientemente del régimen nominal del motor de referencia o del régimen nominal del motor que figure en el Certificado EIAPP.

3.1.4 En el caso de un motor que haya de certificarse de conformidad con el párrafo 5.1.1 de la regla 13, la emisión específica en cada modalidad no superará en más del 50 % el límite aplicable de emisión de NO_x, salvo en los siguientes casos:

.1 la modalidad del 10 % en el ciclo de ensayo D2 especificado en 3.2.5.

.2 la modalidad del 10 % en el ciclo de ensayo C1 especificado en 3.2.6.

.3 la modalidad en vacío en el ciclo de ensayo C1 especificado en 3.2.6.

3.2 Ciclos de ensayo y factores de ponderación que procede aplicar

3.2.1 Para cada motor particular o motor de referencia de una familia de motores o de un grupo de motores, se aplicará uno o más de los ciclos de ensayo pertinentes especificados en 3.2.2 a 3.2.6 a fin de verificar que el motor se ajusta al límite aplicable de emisión de NO_x recogido en la regla 13.

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

3.2.3 En el caso de los motores conectados a una hélice de paso regulable, independientemente de la curva del combinador, se aplicará el ciclo de ensayo E2, de conformidad con la tabla 1.

Tabla 1

Ciclo de ensayo para sistemas de "propulsión principal de régimen constante" (incluidas la propulsión diésel-eléctrica y todas las instalaciones de hélice de paso regulable)

Tipo de ciclo de ensayo E2	Régimen	100 %	100 %	100 %	100 %[2]
	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	Régimen	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 régimen constante, se aplicará el ciclo de ensayo D2, de conformidad con la tabla 3.

Tabla 3

Ciclo de ensayo para "motores auxiliares de régimen constante"

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

[2] Hay casos excepcionales de motores, incluidos los de gran diámetro a los que se aplica el tipo de ciclo de ensayo E2, que debido a su masa oscilante y construcción no pueden funcionar con baja carga al régimen nominal sin riesgo de dañar elementos esenciales. En tales casos, el fabricante del motor solicitará a la Administración que pueda modificarse el ciclo de ensayo de la tabla 1 *supra*, en lo que respecta al régimen del motor correspondiente, para utilizar la modalidad de potencia del 25%. No obstante, el régimen ajustado del motor a una potencia del 25% deberá ser lo más próximo posible al régimen nominal del motor recomendado por el fabricante y aprobado por la Administración. Los factores de ponderación aplicables al ciclo de ensayo no se modificarán.

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

Tabla 4
Ciclo de ensayo para "motores auxiliares de carga y régimen variables"

Tipo de ciclo de ensayo C1	Régimen:	Nominal				Intermedio			En vacío
	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 de par del ciclo de ensayo C1 son porcentajes que representan, para una modalidad de ensayo determinada, la relación entre el par requerido y el par máximo posible para un régimen dado.

3.2.8 El fabricante indicará el régimen intermedio para el ciclo de ensayo C1, teniendo en cuenta las prescripciones siguientes:

.1 en el caso de los motores proyectados para funcionar en una gama de regímenes con una curva de par a plena carga, el régimen intermedio será el régimen correspondiente al par máximo declarado si éste se sitúa entre el 60 % y el 75 % del régimen nominal;

.2 si el régimen de par máximo declarado es inferior al 60 % del régimen nominal, el régimen intermedio será el 60 % del régimen nominal;

.3 si el régimen de par máximo declarado es superior al 75 % del régimen nominal, el régimen intermedio será el 75 % del régimen nominal;

.4 en el caso de los motores que no hayan sido proyectados para funcionar en una gama de regímenes con una curva de par a plena carga en condiciones constantes, el régimen intermedio se situará generalmente entre el 60 % y el 70 % del régimen nominal máximo.

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 necesariamente que dicho motor se someta a todo el proceso de certificación. En tales casos, el fabricante del motor podrá demostrar el cumplimiento mediante un nuevo cálculo, aplicando los resultados de las mediciones de las distintas modalidades del ciclo de ensayo de la primera certificación al cálculo de las emisiones ponderadas totales para el nuevo ciclo de ensayo, 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 éste se ajusta 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 en 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.

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 Se cumplimentarán todos los documentos para la certificación, los cuales deberán ser 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 repuesto, de manera que los motores se ajusten en todo momento a los límites de emisión de NO_x aplicables.

4.2.2 Si se trata de un motor perteneciente a una familia de motores o a un grupo de motores, la documentación para el método de verificación de los parámetros del motor figura en 6.2.2.

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 de motores 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.

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 de motores.

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, cuál o cuáles son los que producen las emisiones de NO_x más altas y cuál o 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 de motores seleccionado y tendrá la posibilidad de elegir un motor distinto para someterlo a un ensayo de homologación o para determinar que la producción cumple las normas establecidas, a fin de cerciorarse de que todos los motores que forman parte de la familia de motores se ajustan al límite aplicable de emisión de NO_x.

4.3.6 El concepto de familia de motores permite efectuar pequeños ajustes de los motores mediante sus componentes regulables. Los motores diésel marinos dotados de componentes regulables tendrán que cumplir todas las prescripciones para cualquier ajuste dentro de la gama de ajustes materialmente disponible. Se considerará que un componente no es regulable cuando esté permanentemente sellado o no se tenga normalmente acceso a él. La Administración podrá exigir que los componentes 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 para garantizar el control efectivo del cumplimiento de la producción. Esto puede incluir, sin que la enumeración sea exhaustiva:

.1 la conexión existente entre los números/identificación de los elementos críticos en relación con los NO_x como se propone para la familia de motores y los números de los planos (y, si procede, el estado de revisión) que definen dichos elementos;

.2 los medios que la Administración podrá utilizar en el momento del reconocimiento con el objeto de verificar que los planos empleados para la producción de los elementos críticos en relación con los NO_x se corresponden con los planos establecidos para definir la familia de motores;

.3 medios de control de revisión de los planos. Si un fabricante propone que sea posible llevar a cabo revisiones de los planos de los elementos críticos en relación con los NO_x que definen a una familia de motores durante toda la vida útil del motor, la conformidad del plan de producción tendría que demostrar que los procedimientos que se van a adoptar sirven para los casos en los cuales las revisiones afectarán, o no, a las emisiones de NO_x. Estos procedimientos incluirán la asignación de números a los planos, el efecto de las marcas de identificación sobre los elementos críticos en relación con los NO_x, y una disposición que estipule que se deben facilitar los planos revisados a la Administración responsable de la aprobación original de la familia de motores. Cuando estas revisiones puedan afectar a las emisiones de NO_x, se deberán definir los medios que se van a adoptar para evaluar o verificar el rendimiento en comparación con el del motor de referencia, junto con las medidas que se deberán adoptar

posteriormente para informar a la Administración y, en su caso, la declaración de un nuevo motor de referencia antes de que se introduzcan dichas modificaciones en servicio;

.4 los procedimientos implantados para garantizar que todas las piezas de repuesto de los elementos críticos en relación con los NO_x que se suministren para un motor certificado se identificarán como figuren en el expediente técnico aprobado y, en consecuencia, se producirán con arreglo a los planos que definen la familia de motores; o

.5 disposiciones equivalentes que apruebe la Administración.

4.3.8 *Orientaciones 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 integren. 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. Así, por ejemplo, el número de cilindros puede ser un parámetro pertinente en determinados motores debido al sistema de aire de carga 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 unitaria
- 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 los gases de escape

.5 método de aspiración del aire
- aspiración natural
- sobrealimentación

.6 tipo de combustible
- destilado o fueloil residual
- combustible mixto

.7 cámara de combustión
- cámara abierta
- cámara dividida

.8 válvulas y lumbreraje, configuración, tamaño y número
- culata
- 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 aire de alimentación
- postratamiento de los gases de escape
- catalizador de reducción
- catalizador de oxidación
- reactor térmico
- colector 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 de motores.

4.3.9 *Orientaciones 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 motores que forman parte de la familia de motores. 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 de motores 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 de motores. Si los diferentes motores que forman parte de una familia de motores 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 El motor de referencia tendrá el valor más alto de emisión para el ciclo de ensayos aplicable.

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 de motores, para certificar que el motor de referencia se ajusta al límite aplicable de emisión de NO_x especificado en la regla 13. Cuando la certificación previa de motores emparentados exija la medición de algunos valores de rendimiento, la calibración del equipo que se utilice para tales mediciones se realizará de conformidad con las prescripciones de 1.3 del apéndice IV del presente Código.

4.3.10.3 Cuando se hayan llevado a cabo el ensayo del motor de referencia de una familia de motores y las mediciones de las emisiones gaseosas en las condiciones más desfavorables especificadas en el Código y se confirme que dicho motor se ajusta a los límites máximos admisibles de emisión aplicables que se estipulan en 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 familia de motores.

4.3.10.4 Si dos o más 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 hayan establecido el acuerdo con la administración que expidió el certificado. Los certificados expedidos de conformidad con tales acuerdos serán aceptados como prueba razonable 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, 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 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 y en el presente Código, antes de que la Administración pueda expedir un Certificado EIAPP.

4.4 Aplicación del concepto de grupo de motores

4.4.1 Los grupos de motores por lo general requieren ajustes o modificaciones para adaptarlos a las condiciones de funcionamiento de a bordo, si bien los límites aplicables de las emisiones de NO_x establecidos en la regla 13 no deberán excederse, como consecuencia de dichos ajustes o modificaciones.

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 podrá aplicarse a cualquier tipo de motor que tenga las mismas características de proyecto que se especifican en 4.4.6, 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 extender 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, dicho propietario podrá solicitar una certificación de grupo de motores. El grupo de motores podrá basarse en un motor de referencia que se haya sometido a ensayo 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. Si una parte que no sea el fabricante del motor solicita la certificación del motor, el solicitante de la certificación del motor asume las responsabilidades del fabricante del motor que se indican en otros apartados del presente Código.

4.4.5 Antes de conceder la homologación inicial de un grupo de motores para una producción en serie, la Administración adoptará las medidas necesarias para verificar que se han tomado disposiciones que garanticen el control eficaz del cumplimiento de la producción. Las prescripciones de 4.3.7 se aplican *mutatis mutandis* a la presente sección. Esta prescripción puede no ser necesaria para los grupos de motores que se establezcan con el propósito de modificar los motores a bordo, una vez expedido el Certificado EIAPP.

4.4.6 *Orientaciones para la selección de un grupo de motores*

4.4.6.1 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.

4.4.6.2 Todos los motores de un mismo grupo se ajustarán a los siguientes parámetros y especificaciones:

.1 diámetro y carrera;

.2 método y características de proyecto del sistema de alimentación a presión y del sistema 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 de la leva de inyección, que pueden tener un perfil característico básico que repercuta en las emisiones de NO_x; y

.6 potencia nominal al régimen nominal. El fabricante ha de declarar los intervalos permitidos de potencia del motor (kW/cilindro) y/o el régimen nominal, y éstos han de ser aprobados por la Administración.

4.4.6.3 En general, cuando los criterios prescritos en 4.4.6.2 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 criterios no es común a todos los motores de un posible grupo de motores, se podrá considerar que éstos constituyen un grupo de motores.

4.4.7 *Orientaciones relativas a los ajustes o modificaciones admisibles dentro de un grupo de motores*

4.4.7.1 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 y/o los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo y/o 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 del motor en el banco de pruebas respecto de las emisiones de NO_x podrán aceptarse 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 al límite aplicable de emisión de NO_x.

4.4.7.2 A continuación se dan ejemplos de ajustes y modificaciones admisibles de un grupo de motores, sin que la enumeración 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 de los cilindros,
- las diferencias de suministro de combustible entre cilindros.

.2 para obtener prestaciones óptimas, modificación de:

- la turbosoplante,
- los elementos de la bomba de inyección,
- las especificaciones del émbolo,
- las especificaciones de la válvula de suministro.

- las toberas de inyección,
- los perfiles de leva,
- las válvulas de admisión o de escape,
- la leva de inyección,
- la cámara de combustión.

4.4.7.3 Estos 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 en las emisiones de NO_x que puedan ser aceptadas para todos los motores del grupo, sin que sea necesario efectuar las mediciones para cada motor del grupo de motores a fin de certificarlos.

4.4.8 *Orientaciones para la selección del motor de referencia de un grupo de motores*

4.4.8.1 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. Asimismo, en el ensayo de certificación previa en el que un motor de referencia no se ajuste a las condiciones de funcionamiento de referencia o tolerancia máxima definidas por el fabricante del motor (las cuales pueden incluir, entre otras, la presión máxima de combustión, la presión de compresión, la contrapresión de escape y la temperatura del aire de carga) para el grupo de motores, los valores medidos de las emisiones de NO_x se corregirán según las condiciones de referencia y tolerancia máxima definidas, basándose en ensayos de sensibilidad de las emisiones realizados con otros motores representativos. El valor medio ponderado corregido de las emisiones de NO_x correspondiente a las condiciones de referencia que resulte se indicará en 1.9.6 del Suplemento del Certificado EIAPP. En ningún caso el efecto de las tolerancias correspondientes a las condiciones de referencia deberá dar un valor de emisiones que exceda del límite aplicable de emisión de NO_x prescrito en la regla 13. El método utilizado para seleccionar el motor de referencia que represente a un grupo de motores, los valores de referencia y las tolerancias aplicadas serán aceptados y aprobados por la Administración.

4.4.9 *Certificación de un grupo de motores*

4.4.9.1 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 diésel marino, cualquiera que sea el lugar donde se efectúe 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 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 métodos de laboratorio, dado que la determinación del valor de las emisiones exige la realización de una compleja serie de mediciones particulares, más 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 ensayo.

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 tendrán incorporado 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 éste 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 el resto del 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 al ensayo.

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 que se especifique lo contrario, todos los resultados de las mediciones, datos del ensayo o cálculos prescritos en este capítulo se consignarán en el informe relativo al ensayo del motor de conformidad con lo dispuesto en 5.10

5.1.10 Las referencias en el presente Código a la expresión "aire de carga" se aplican igualmente al aire de barrido.

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*

5.2.1.1 Se medirá la temperatura absoluta (T_a) del aire de admisión del motor expresada en grados Kelvin, y la presión atmosférica en seco (p_S), expresada en kPa, se medirá o calculará del siguiente modo:

$$p_s = p_b - 0{,}01 \cdot R_a \cdot p_a$$

p_a con arreglo a la fórmula (10)

5.2.1.2 En el caso de motores con aspiración natural y mecánicamente sobrealimentados, el parámetro f_a se determinará de acuerdo con la siguiente fórmula:

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

5.2.1.3 En el caso de motores con turboalimentador, con o sin refrigeración del aire de admisión, el parámetro f_a se determinará de acuerdo con la siguiente fórmula:

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

5.2.1.4 A fin de que se reconozca la validez de un ensayo para la homologación de una familia de motores, el parámetro f_a será tal que:

$$0{,}93 \leq f_a \leq 1{,}07 \quad (3)$$

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.

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, a una temperatura ambiente del agua de mar de 25 °C. Esta temperatura de referencia se aplicará con arreglo al medio de refrigeración del aire de carga aplicable a la instalación específica, del siguiente modo:

.1 Refrigeración directa con agua de mar de los enfriadores del aire de carga del motor. Se demostrará que se cumplen los límites de NO_x aplicables con una temperatura del refrigerante en la entrada del enfriador del aire de carga que sea de 25 °C.

.2 Refrigeración intermedia de agua dulce de los enfriadores del aire de carga del motor. Se demostrará que se cumplen los límites de NO_x aplicables con el sistema de refrigeración del aire de carga funcionando al régimen especificado de temperatura de servicio del refrigerante en la entrada correspondiente a una temperatura ambiente del agua de mar de 25 °C.

Nota: la demostración del cumplimiento durante la realización de una prueba del motor de referencia para un sistema de refrigeración directa a base de agua de mar, como se indica en .1 *supra*, no es prueba de que se cumpla el régimen de mayor temperatura del aire de carga que es inherente al método intermedio de refrigeración con agua dulce prescrito en la presente sección.

.3 En las instalaciones en que los enfriadores del aire de carga no se refrigeren con agua de mar, ni directa ni indirectamente, por ejemplo los sistemas de radiadores de refrigeración por agua dulce o los de refrigeración del aire de carga por aire, el cumplimiento del límite aplicable de emisión de NO_x se demostrará con los sistemas de refrigeración del motor y del aire de carga operando de la forma especificada por el fabricante con una temperatura del aire de 25 °C.

5.2.2.3 Se demostrará que se cumple el límite aplicable de emisión de NO_x definido en la regla 13 ya sea mediante pruebas o realizando un cálculo basado en las temperaturas de referencia del aire de carga (T_{SCRef}) especificadas y justificadas por el fabricante, si procede.

5.2.3 *Potencia*

5.2.3.1 La base de la medición de las emisiones específicas es la potencia al freno no corregida, tal como se define ésta en 1.3.11 y 1.3.13. El motor se someterá a prueba con el equipo auxiliar necesario para su funcionamiento (por ejemplo, ventilador, bomba de agua, etc.). Si resulta imposible o no se considera conveniente instalar el equipo auxiliar en el banco de pruebas, se determinará la potencia absorbida por dicho equipo, y se restará de la potencia del motor medida.

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 el funcionamiento de éste. Véanse también 5.1.5 y 5.1.6.

5.2.3.3 En aquellos casos en que no se retire el equipo auxiliar, se determinará la potencia absorbida por dicho equipo a los regímenes de ensayo, para calcular los reglajes del dinamómetro, salvo en el caso de que dicho equipo auxiliar forme parte integrante del motor (por ejemplo, los ventiladores de refrigeración de los motores refrigerados por aire).

5.2.4 *Sistema de admisión de aire del motor*

5.2.4.1 Se utilizará un sistema de admisión de aire o un sistema de taller de pruebas que presente una restricción a la entrada del aire de ± 300 Pa del valor máximo especificado por el fabricante para un filtro de aire limpio al régimen de potencia nominal y carga completa.

5.2.4.2 Si el motor está equipado con un sistema de admisión de aire integrado, éste se utilizará en los ensayos.

5.2.5 *Sistema de escape del motor*

5.2.5.1 Se utilizará un sistema de escape o un sistema de taller de pruebas que presente una contrapresión de ± 650 Pa del valor máximo especificado por el fabricante al régimen de potencia nominal y carga completa. El sistema de escape se ajustará a las prescripciones relativas a la toma de muestras de gases de escape, como se establece en 5.9.3.

5.2.5.2 Si el motor está equipado con un sistema de escape integrado, éste se utilizará en los ensayos.

5.2.5.3 Si el motor incorpora un dispositivo de tratamiento de los gases de escape, el tubo de escape tendrá el mismo diámetro que en la realidad en una longitud mínima igual a cuatro veces el diámetro en dirección a la entrada del comienzo de la sección de expansión donde se encuentre el dispositivo de tratamiento. La distancia entre la brida del colector de escape o salida del turboalimentador y el dispositivo de tratamiento de los gases de escape será la misma que en la configuración de a bordo o estará dentro de las especificaciones de distancia del fabricante. La contrapresión o restricción del escape se regirá por esos mismos criterios y podrá regularse con una válvula.

5.2.5.4 En caso de que la contrapresión impidiera ajustarse a la contrapresión de los gases de escape necesaria, el fabricante del motor demostrará el efecto sobre las emisiones de NO_x y, previa aprobación de la Administración, se corregirá el valor de las emisiones si fuera necesario.

5.2.6 *Sistema de enfriamiento*

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

5.3 Fueloils de ensayo

5.3.1 Las características del fueloil pueden afectar a las emisiones de gases de escape del motor; en particular, parte del contenido de nitrógeno del combustible puede convertirse en NO_x durante la combustión. Por consiguiente, se determinarán y anotarán las características del fueloil utilizado para el ensayo. Cuando se utilice fueloil de referencia, se proveerán el código de referencia o las especificaciones, así como el análisis del fueloil.

5.3.2 La selección del fueloil para el ensayo depende del objetivo del ensayo. Si no se dispone de un fueloil de referencia apropiado, se recomienda utilizar un combustible para usos marinos de tipo DM especificado en la norma ISO 8217:2005, con propiedades adecuadas al tipo de motor de que se trate. En el caso de que no se disponga de un fueloil de tipo DM, podrá utilizarse un fueloil de tipo RM con arreglo a la norma ISO 8217:2005. La composición del fueloil se analizará a fin de determinar todos los componentes necesarios para una especificación clara y para determinar si se utilizará un combustible de tipo DM o RM. También se determinará el contenido de nitrógeno. Durante el ensayo se tomará una muestra del fueloil utilizado en el ensayo del motor de referencia.

5.3.3 La temperatura del fueloil será la que recomiende el fabricante. La temperatura del fueloil 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.

5.3.4 Los motores de combustible mixto que utilicen combustible líquido como combustible piloto se someterán a ensayo utilizando la relación máxima entre el combustible líquido y el combustible gaseoso. La fracción líquida del combustible se ajustará a lo dispuesto en 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3.

5.4 Equipo de medición y datos que deben medirse

5.4.1 La emisión de componentes gaseosos del motor sometido a ensayo se medirá mediante los métodos descritos en el apéndice III del presente Código, en el que se describen los sistemas de análisis recomendados para las emisiones de gases.

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 indicado en 5.4.1. Al establecer una equivalencia se demostrará que los sistemas o analizadores alternativos propuestos producirían, con arreglo a normas reconocidas nacionales o internacionales, resultados equivalentes cuando se usen para medir las concentraciones de emisiones de gases de escape de un motor diésel según las prescripciones indicadas en el párrafo 5.4.1.

5.4.3 En el caso de introducirse un nuevo sistema, la equivalencia se determinará calculando la repetibilidad y la reproducibilidad, de conformidad con las normas ISO 5725–1 e ISO 5725–2 o cualquier otra norma reconocida comparable.

5.4.4 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 IV se exponen los requisitos de precisión de dicho equipo para la realización de ensayos de emisión.

5.4.5 *Especificaciones del dinamómetro*

5.4.5.1 Se utilizará un dinamómetro para motores, cuyas características sean adecuadas para realizar el ciclo de ensayo apropiado descrito en 3.2.

5.4.5.2 Los instrumentos para medir el par y las revoluciones permitirán medir con precisión la potencia en el eje dentro de los límites señalados. Puede ser necesario efectuar cálculos adicionales.

5.4.5.3 El equipo de medición será lo suficientemente preciso para que no se excedan las diferencias máximas admisibles indicadas en 1.3.1 del apéndice IV del presente Código.

5.5 Determinación del flujo de gases de escape

5.5.1 Se determinará el flujo de los gases de escape por uno de los métodos especificados en 5.5.2, 5.5.3 ó 5.5.4.

5.5.2 *Método de medición directa*

5.5.2.1 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.

5.5.3 *Método de medición del aire y del combustible*

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

5.5.3.2 Este método implica medir el flujo de aire y el flujo de combustible. Se utilizarán caudalímetros de aire y de combustible cuya precisión se ajuste a lo definido en el párrafo 1.3.1 del apéndice IV del presente Código.

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

$$q_{mew} = q_{maw} + q_{mf} \qquad (4)$$

5.5.3.4 El caudalímetro de aire satisfará las especificaciones de precisión del apéndice IV del presente Código, el analizador de CO_2 utilizado satisfará las especificaciones del apéndice III del presente Código y todo el sistema satisfará las especificaciones de precisión para el flujo de gases de escape que figuran en el apéndice IV del presente Código.

5.5.4 *Flujo de combustible y método de equilibrado del carbono*

5.5.4.1 Este método entraña calcular el caudal másico de los gases de escape a partir del consumo de combustible, de la composición del combustible y de las concentraciones de gases de escape utilizando el método de equilibrado del carbono, tal como se especifica en el apéndice VI del presente Código.

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

5.6.1 La calibración de todos los instrumentos de medición, tanto los mencionados en el apéndice IV como los instrumentos de medición adicionales que sean necesarios para definir el comportamiento de un motor en cuanto a la emisión de NO_x, por ejemplo, la medición de la presión máxima del cilindro o del aire de carga, se habrá realizado de conformidad con normas reconocidas por la Administración y se ajustará a las prescripciones que figuran en 1.3.1 del apéndice IV del presente Código.

5.7 Analizadores para la determinación de los componentes gaseosos

5.7.1 Los analizadores para determinar los componentes gaseosos se ajustarán a las especificaciones del apéndice III del presente Código

5.8 Calibración de los instrumentos analíticos

5.8.1 Todo analizador utilizado para medir las emisiones gaseosas de un motor se calibrará de conformidad con las prescripciones del apéndice IV del presente Código.

5.9 Ensayo

5.9.1 *Generalidades*

5.9.1.1 En 5.9.2 a 5.9.4 y en el apéndice III del presente Código 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, con el consentimiento de la Administración, cuando su exclusión se base en un juicio técnico correcto.

5.9.1.2 El reglaje de la restricción de la admisión (motores con aspiración natural) o de la presión del aire de carga (motores con turboalimentador) y de la contrapresión de escape se realizará de conformidad con lo dispuesto en 5.2.4 y 5.2.5, respectivamente.

5.9.1.3 En el caso de un motor con sobrealimentación, la condición de restricción de la admisión se considerará la condición con un filtro de admisión de aire limpio, y suponiendo que el sistema de sobrealimentación funciona dentro de los límites declarados, o que vayan a establecerse, para la familia o el grupo de motores al que representarán los resultados del ensayo del motor de referencia.

5.9.2 *Principales componentes de los gases de escape: CO, CO_2, HC, NO_x y O_2*

5.9.2.1 Todo sistema de análisis para determinar las emisiones gaseosas de los gases de escape brutos se basará en el uso de los analizadores indicados en 5.4.

5.9.2.2 La muestra que contenga todos los componentes de los gases de escape brutos podrá tomarse con una sonda de muestreo o con dos sondas de muestreo muy próximas que tengan divisiones internas para canalizar los gases hacia los distintos analizadores. Habrá que procurar 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 la calibración de estos analizadores se ajustarán a lo establecido en los apéndices III y IV del presente Código, respectivamente.

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 equivalente a 10 veces el diámetro del tubo de escape como mínimo después de la salida del motor, del turboalimentador o del último dispositivo de tratamiento, si éste es el más alejado, y a una distancia de 0,5 m como mínimo, o de tres veces el diámetro del tubo de escape, si este valor es mayor, antes de la salida del sistema de gases de escape. En el caso de los sistemas de escape de escasa longitud que no dispongan de ningún punto que cumpla estas dos especificaciones, la Administración deberá aprobar otro punto para la instalación de la sonda de muestreo.

5.9.3.2 Los gases de escape se mantendrán a una temperatura de al menos 190°C en la sonda de muestreo de HC y de al menos 70°C en las de otros gases medidos cuando éstas sean distintas de la sonda de muestreo de HC.

5.9.3.3 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, se aceptará la obtención de una muestra de cada grupo y el cálculo del promedio de las emisiones de escape. Se aceptaría igualmente la obtención de una muestra de un único grupo como representación de la emisión

media, siempre que pueda justificarse ante la Administración que las emisiones procedentes de otros grupos son idénticas. También podrán utilizarse otros métodos, previa autorización de la Administración, siempre que se haya demostrado su correlación con los métodos anteriores. Para el cálculo de las emisiones de gases de escape, se utilizará el flujo másico total de los escapes.

5.9.3.4 El sistema de muestreo de los gases de escape se someterá a la prueba de fugas, de conformidad con lo indicado en la sección 4 del apéndice IV del presente Código,.

5.9.3.5 Cuando la composición de los gases de escape se vea afectada por algún sistema de tratamiento de los gases de escape, la muestra se obtendrá después de que dichos gases hayan pasado por ese dispositivo.

5.9.3.6 La entrada de la sonda estará situada de manera que se evite la ingestión del agua que se inyecte en el sistema de escape con fines de refrigeración, puesta a punto o reducción del ruido.

5.9.4 *Comprobación de los analizadores*

5.9.4.1 Los analizadores de emisiones se pondrán a cero, y se calibrarán los fondos de escala de conformidad con lo indicado en la sección 6 del apéndice IV del presente Código.

5.9.5 *Ciclos de ensayo*

5.9.5.1 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. El motor se hará funcionar en cada una de las modalidades, en cualquier orden, de conformidad con los ciclos de ensayo pertinentes definidos en 3.2.

5.9.6.2 Durante cada modalidad del ciclo de ensayo, tras el periodo inicial de transición, el régimen especificado se mantendrá a ± 1 % del régimen nominal, o a ± 3 min^{-1}, si este último valor es mayor, excepto para la marcha en vacío lenta, que se deberá ajustar a las tolerancias establecidas por el fabricante. Se mantendrá el par especificado de manera que la media durante el periodo en que se realizan las mediciones se sitúe en un ± 2 % del par nominal al régimen nominal del motor.

5.9.7 *Respuesta del analizador*

5.9.7.1 Tras la estabilización, los resultados indicados por los analizadores, tanto durante el ensayo como durante todas las verificaciones de respuesta cero y de fondo de escala, se registrarán mediante un sistema de adquisición de datos o un registrador de papel continuo. El periodo de registro no será inferior a 10 minutos cuando se analicen los gases de escape ni a 3 minutos para cada verificación de respuesta cero y de fondo de escala. Para los sistemas de adquisición de datos se empleará una frecuencia mínima de tres muestras por minuto. Los valores de NO_x, HC y CO se consignarán en ppm, o equivalente, redondeados como mínimo al entero más cercano. Las concentraciones medidas de CO_2 y O_2 se consignarán en porcentaje, o equivalente, con dos decimales como mínimo.

5.9.8 *Condiciones del motor*

5.9.8.1 l régimen y la carga del motor, así como otros parámetros esenciales, 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*

5.9.9.1 Tras el ensayo de emisión se comprobarán de nuevo la respuesta cero y de fondo de escala de los analizadores con un gas cero y el mismo gas de calibración de fondo de escala utilizado con anterioridad a las mediciones. El ensayo se considerará aceptable en los siguientes casos:

.1 cuando la diferencia entre las respuestas al gas cero antes y después del ensayo sea inferior al 2 % de la concentración inicial del gas de calibración de fondo de escala; y

.2 cuando la diferencia entre las respuestas al gas de calibración de fondo de escala antes y después del ensayo sea inferior al 2 % de la concentración inicial de gas de calibración de fondo de escala.

5.9.9.2 No se aplicarán correcciones de deriva de cero o de calibración de fondo de escala a las respuestas del analizador registradas de conformidad con 5.9.7.

5.10 Informe relativo al ensayo

5.10.1 Para cada motor particular o motor de referencia que se someta a ensayo con el fin de establecer un grupo o una familia de motores, el fabricante del motor preparará un informe relativo al ensayo en el que figurarán los datos necesarios para definir exhaustivamente el rendimiento del motor y permitir el cálculo de las emisiones gaseosas, incluidos los datos que se indican en la sección 1 del apéndice V del presente Código. El fabricante del motor conservará el original del informe relativo al ensayo y la Administración conservará una copia certificada del mismo.

5.11 Evaluación de los datos relativos a las emisiones gaseosas

5.11.1 Para la evaluación de las emisiones gaseosas, se calculará el promedio de los datos registrados durante, como mínimo, los últimos 60 segundos de cada modalidad, y las concentraciones de CO, CO_2, HC, NO_x y O_2 durante cada modalidad se determinarán utilizando los datos promedio registrados y los datos de la comprobación de cero y de fondo de escala. Los resultados promediados se consignarán en porcentaje y con dos decimales como mínimo para los valores de CO_2 y O_2, y en ppm, redondeados como mínimo al entero más cercano, para los valores de CO, HC y NO_x.

5.12 Cálculo de las emisiones gaseosas

5.12.1 Los resultados definitivos que se han de consignar en el informe relativo al ensayo se determinarán siguiendo las pautas indicadas en 5.12.2 a 5.12.6.

5.12.2 *Cálculo del flujo de los gases de escape*

5.12.2.1 Se determinará el caudal de los gases de escape (q_{mew}) para cada modalidad, de conformidad con uno de los métodos descritos en 5.5.2 a 5.5.4.

5.12.3 *Corrección de la concentración en seco a la concentración en húmedo*

5.12.3.1 Si las emisiones no se han medido en húmedo, la concentración medida se convertirá a la concentración en húmedo, de acuerdo con cualquiera de las fórmulas siguientes:

$$c_w = k_w \cdot c_d \qquad (5)$$

5.12.3.2 Para los gases de escape brutos:

.1 En una combustión completa en la que el flujo de los gases de escape haya de determinarse de conformidad con el método de medición directa descrito en 5.5.2 o el método de medición del aire y del combustible descrito en 5.5.3, se utilizará una de las dos fórmulas siguientes:

$$k_{wr1} = \left(1 - \frac{1{,}2442 \cdot H_a + 111{,}19 \cdot w_{ALF} \cdot \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773{,}4 + 1{,}2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} \cdot f_{fw} \cdot 1000} \right) \cdot 1{,}008 \qquad (6)$$

o

$$k_{wr1} = \left(1 - \frac{1{,}2442 \cdot H_a + 111{,}19 \cdot w_{ALF} \cdot \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773{,}4 + 1{,}2442 \cdot H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} \cdot f_{fw} \cdot 1000} \right) \Bigg/ \left(1 - \frac{p_r}{p_b} \right) \qquad (7)$$

con

$$f_{fw} = 0{,}055594 \times w_{ALF} + 0{,}0080021 \times w_{DEL} + 0{,}0070046 \times w_{EPS} \qquad (8)$$

H_a es la humedad absoluta del aire de admisión, en g de agua por kg de aire seco

Nota: H_a podrá obtenerse a partir de la medición de la humedad relativa, la del punto de rocío, la de la presión de vapor o la realizada con el termómetro seco/húmedo, utilizando las fórmulas habituales.

$$Ha = 6{,}22 \cdot pa \cdot R_a / (p_b - 0{,}01 \cdot R_a \cdot p_a) \qquad (9)$$

donde:

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

$$p_a = (4{,}856884 + 0{,}2660089 \cdot t_a + 0{,}01688919 \cdot t_a^2 - 7{,}477123 \cdot 10^{-5} \cdot t_a^3 + 8{,}10525 \cdot 10^{-6} \cdot t_a^4 - 3{,}115221 \cdot 10^{-8} \cdot t_a^5) \cdot (101{,}32 / 760) \qquad (10)$$

siendo

t_a = temperatura del aire de admisión, en °C; $t_a = T_a - 273{,}15$

p_b = presión barométrica total, en kPa

p_r = presión del vapor de agua, después de aplicar un baño refrigerante, del sistema de análisis, en kPa

p_r = 0,76 kPa para una temperatura del baño refrigerante de 3 °C

.2 En caso de combustión incompleta, cuando la concentración de CO sea superior a 100 ppm o la de HC superior a 100 ppm en una o más modalidades y el flujo de los gases de escape se determine de conformidad con el método de medición directa descrito en 5.5.2 o con el método de medición del aire y del combustible descrito en 5.5.3, y en todos los casos en que se aplique el método de equilibrado del carbono descrito en 5.5.4, se utilizará una de las dos fórmulas siguientes:

Nota: en las ecuaciones (11) y (13) las concentraciones de CO y CO_2 están expresadas en porcentaje.

$$k_{wr2} = \frac{1}{1+\alpha\times 0{,}005\times[\,c_{CO2d}+c_{COd}\,]-0{,}01\times\ c_{H2d}+k_{w2}-\frac{p_r}{p_b}} \qquad (11)$$

con

$$\alpha \quad = \quad 11{,}9164\times\frac{w_{ALF}}{w_{BET}} \qquad (12)$$

$$c_{H2d} \quad = \quad \frac{0{,}5\times\alpha\ \times\ c_{COd}\times(\,c_{COd}\ +\ c_{CO2d}\,)}{c_{COd}\ +\ 3\times\ c_{CO2d}} \qquad (13)$$

$$k_{w2} \quad = \quad \frac{1{,}608\times H_a}{1000+(1{,}608\times H_a)} \qquad (14)$$

5.12.3.3 Para el aire de admisión

$$k_{wa} \quad = \quad 1-k_{w2} \qquad (15)$$

5.12.4 *Corrección de los NO_x para tener en cuenta la humedad y la temperatura*

5.12.4.1 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 establecidos de conformidad con 5.12.4.5 o 5.12.4.6, según proceda.

5.12.4.2 No se utilizarán otros valores de referencia para la humedad distintos de 10,71 g/kg a la temperatura de referencia de 25 °C.

5.12.4.3 Podrán utilizarse otras fórmulas de corrección cuando sea posible justificarlas y validarlas y tengan la aprobación de la Administración.

5.12.4.4 El agua o el vapor inyectados en el aire de carga (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 influirá en la humedad del aire de carga y, por lo tanto, se tendrá en cuenta para la corrección de la humedad.

5.12.4.5 Para los motores de encendido por compresión:

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0{,}0182 \times (H_a - 10{,}71) + 0{,}0045 \times (T_a - 298)} \quad (16)$$

donde:

T_a = es la temperatura del aire en el punto de entrada al filtro del aire, en K
H_a = es la humedad del aire de admisión en el punto de entrada al filtro del aire, en g de agua por kg de aire seco

5.12.4.6 Para los motores de encendido por compresión con enfriador de aire intermedio se utilizará la siguiente ecuación:

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0{,}012 \times (H_a - 10{,}71) - 0{,}00275 \times (T_a - 298) + 0{,}00285 \times (T_{SC} - T_{SCRef})} \quad (17)$$

donde:

T_{SC} es la temperatura del aire de carga;
T_{SCRef} es la temperatura del aire de carga en cada una de las modalidades correspondiente a una temperatura del agua de mar de 25°C, según se indica en 5.2.2. El valor de T_{SCRef} será especificado por el fabricante.

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,
$H_{SC} = 6{,}22 \cdot p_{SC} \cdot 100 / (p_C - p_{SC})$

donde:

p_{SC} = presión del vapor de saturación del aire de carga, kPa
p_C = presión del aire de carga, kPa

Ahora bien, si $H_a \geq H_{SC}$, se utilizará H_{SC} en lugar de H_a en la fórmula (17).

5.12.5 *Cálculo de los caudales másicos de emisión*

5.12.5.1 El caudal másico de emisión del respectivo componente de los gases de escape brutos para cada modalidad se calculará de conformidad con 5.12.5.2 utilizando la concentración medida obtenida de conformidad con 5.11.1, el valor aplicable de u_{gas} de la tabla 5 y el caudal másico de los gases de escape de conformidad con 5.5.

Tabla 5

Coeficiente u_{gas} y parámetros específicos del combustible para los gases de escape brutos

Gas		NO_x	CO	HC	CO_2	O_2
ρ_{gas} kg/m³		2,053	1,250	*	1,9636	1,4277
	ρ_e **	Coeficiente u_{gas} ***				
Fueloil	1,2943	0,001586	0,000966	0,000479	0,001517	0,001103

* depende del combustible
** ρ_e es la densidad normal del gas de escape
*** a $\lambda = 2$, aire húmedo, 273 K, 101,3 kPa

Los valores de u que figuran en la tabla 5 se basan en las propiedades ideales de los gases.

5.12.5.2 Se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$q_{mgas} = u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot q_{mew} \cdot k_{hd} \text{ (para } NO_x\text{)} \quad (18)$$

$$q_{mgas} = u_{gas} \cdot c_{gas} \cdot q_{mew} \text{ (para otros gases)} \quad (18a)$$

donde:

q_{mgas} = caudal másico de emisión del gas en cuestión, g/h
u_{gas} = relación entre la densidad del componente de los gases de escape y la densidad de los gases de escape (véase la tabla 5)
c_{gas} = concentración del componente respectivo en los gases de escape brutos, en ppm, húmedo
q_{mew} = caudal másico de emisión, en kg/h, húmedo
k_{hd} = factor de corrección de la humedad de los NO_x

Nota: en el caso de la medición de CO_2 y O_2, la concentración se indicará normalmente en porcentaje. Por lo que respecta a la aplicación de la fórmula (18a), dichas concentraciones tendrán que expresarse en ppm (1,0 % = 10 000 ppm).

5.12.5.3 Para el cálculo de los NO_x, se utilizará el factor de corrección de la humedad (k_{hd}) determinado de conformidad con 5.12.4.

5.12.5.4 La concentración medida, si no se ha medido ya en húmedo, se convertirá a la concentración en húmedo, tal como se indica en 5.12.3.

5.12.6 *Cálculo de las emisiones específicas*

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

$$\text{gas}_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(q_{mgasi} \cdot W_{Fi} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} \left(P_i \cdot W_{Fi} \right)} \quad (19)$$

donde:

$$P = P_m + P_{aux} \quad (20)$$

y

q_{mgas} es el caudal másico del gas de que se trate
P_m es la potencia medida de la modalidad de que se trate
P_{aux} es la potencia de los equipos auxiliares acoplados al motor de la modalidad de que se trate

5.12.6.2 Los factores de ponderación y el número de modalidades (n) utilizados en los cálculos anteriores se ajustarán a lo dispuesto en 3.2.

5.12.6.3 El valor resultante de la emisión media ponderada de NO_x del motor, calculado según la fórmula (19), se comparará con el límite aplicable de emisión especificado en la regla 13 para determinar si el motor cumple lo dispuesto en la misma.

Capítulo 6

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

6.1 Generalidades

6.1.1 Después de la instalación de un motor que tenga certificación previa a bordo de un buque, el motor diésel marino será objeto de reconocimientos de verificación a bordo, tal como se establece en 2.1.1.2 al 2.1.1.4, para verificar que sigue ajustándose al límite aplicable de emisión de NO_x especificado en la regla 13. 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 que figuran en el expediente técnico de dicho motor;

.2 método simplificado de medición de conformidad con 6.3; ó

.3 método directo de medición y vigilancia de conformidad con 6.4.

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 (Certificado EIAPP) en el banco de pruebas y aquellos que hayan recibido un certificado (Certificado EIAPP) tras la realización de un reconocimiento de certificación inicial de conformidad con 2.2.4; 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 Cuando un motor diésel se ha proyectado de manera que funcione dentro del límite aplicable de emisión de NO_x, es muy probable que se ajuste a dicho límite durante toda su vida útil. No obstante, existe la posibilidad de que, como consecuencia de ajustes o modificaciones introducidos en él, el motor deje de ajustarse al límite aplicable 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 del límite aplicable de emisión de NO_x.

6.2.1.3 Las verificaciones de los elementos del motor, incluidas las verificaciones de los reglajes y de los valores de funcionamiento del motor, tienen por objeto ofrecer un medio fácil de deducción del nivel de 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 el límite aplicable de emisión de NO_x. Cuando se requiera la medición de algunos valores de funcionamiento, la calibración del equipo utilizado para esas mediciones se realizará de conformidad con las prescripciones del apéndice IV del presente Código.

6.2.1.4 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 a la certificación inicial de la Administración de que cumple lo prescrito en la regla 13, según proceda.

6.2.1.5 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.

6.2.1.6 Con objeto de evaluar el cumplimiento de la regla 13, no siempre es necesario medir las emisiones de NO_x para determinar si es probable que un motor no equipado con un dispositivo de tratamiento se ajuste al límite aplicable de emisión de NO_x. Puede bastar con saber que el estado actual del motor se 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 al límite aplicable de emisión de NO_x, se podrá volver a certificar el motor sin medir directamente los NO_x.

6.2.1.7 En el caso de los motores equipados con dispositivos de reducción de NO_x, será necesario verificar el funcionamiento de dicho dispositivo como parte del método de verificación de los parámetros del motor.

6.2.2 *Documentación para la verificación de los parámetros del motor*

6.2.2.1 Todo motor diésel marino tendrá un expediente técnico, como se exige en 2.3.4, en el que se indiquen los elementos, reglajes o valores de funcionamiento del mismo que afectan a las emisiones de gases de escape y que han de verificarse para cerciorarse del cumplimiento.

6.2.2.2 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 o la certificación de a bordo, si ésta se realizó primero.

6.2.2.3 En función del 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, o
.15 otros parámetros especificados por la Administración.

6.2.2.4 El expediente técnico propiamente dicho del motor podrá incluir, con arreglo a las recomendaciones del solicitante de la certificación del motor y con la aprobación de la Administración, un número menor de elementos o parámetros que los referidos en la sección 6.2.2.3, según el motor de que se trate y su proyecto específico.

6.2.2.5 Para ciertos parámetros existen distintas maneras de realizar el reconocimiento. Con la aprobación de la Administración, el propietario del buque, respaldado por el solicitante de la certificación del motor, podrá elegir el método que hay que aplicar. Cualquiera de los métodos enumerados en la lista de comprobación para un método de verificación de los parámetros del motor que figura en el apéndice VII del presente Código, o una combinación de ellos, puede bastar para demostrar el cumplimiento.

6.2.2.6 La documentación técnica relativa a la modificación de los elementos del motor que debe ir en el expediente técnico del motor incluirá los pormenores de esa modificación y su influencia en las emisiones de NO_x, y se facilitará en el momento en que se lleve a cabo la modificación. 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.

6.2.2.7 El propietario o la persona responsable de un buque equipado con un motor diésel marino que tenga que ser objeto de una verificación de sus parámetros mantendrá a bordo la siguiente documentación en relación con los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo:

.1 un registro de los parámetros del motor para consignar todas las modificaciones, incluidas las sustituciones por piezas iguales y los ajustes que se hagan de los elementos y reglajes del motor dentro de los rangos aprobados;

.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 solicitante de la certificación del motor y aprobada por la Administración; y

.3 la documentación técnica relativa a la modificación de un elemento del motor cuando tal modificación afecte a cualquiera de los elementos especificados del motor.

6.2.2.8 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 el registro de los parámetros del motor. Estas descripciones se complementarán con otros datos pertinentes utilizados para evaluar las emisiones de NO_x del motor.

6.2.3 *Procedimientos de verificación de los parámetros del motor*

6.2.3.1 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 el registro 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 se efectuará una inspección propiamente dicha de los elementos del motor y de sus características regulables, según sea necesario. A continuación, se verificará que las características regulables del motor se ajustan a los límites admisibles especificados en el expediente técnico del motor, teniendo en cuenta también los resultados de la inspección de la documentación.

6.2.3.2 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 al límite aplicable de emisiones de NO_x y que sólo se utilizan elementos de la especificación aprobada, como se indica en 2.4.1.7. Cuando en el expediente técnico se mencionen ajustes o modificaciones de una especificación, éstos se ajustarán a los límites recomendados por el solicitante de la certificación del motor y aprobados por la Administración.

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, anuales y de renovación, cuando sea necesario. Todo ensayo inicial de un motor en un banco de pruebas se realizará de conformidad con el procedimiento especificado en el capítulo 5. Las correcciones en función de la humedad y la temperatura del aire ambiente, conforme a lo dispuesto en 5.12.4, 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 intermedios, anuales y de renovación realizados a bordo se medirán, como mínimo esencial, las concentraciones de las emisiones gaseosas de NO_x y CO_2, 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 el régimen del motor, pero, para simplificar el procedimiento, las diferencias 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 diferencias 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 solicitante de la certificación del motor y aprobados por la Administración.

6.3.1.4 En la práctica, resulta a menudo imposible medir el consumo de fueloil una vez que el motor ha sido instalado a bordo de un buque. Para simplificar el procedimiento a bordo, se podrán aceptar los resultados de la medición del consumo de fueloil realizada para la certificación previa en el banco de pruebas. En tales casos, particularmente por cuanto respecta al funcionamiento con fueloil residual (fueloil de tipo RM con arreglo a la norma ISO 8217:2005), se efectuará un cálculo teniendo en cuenta el error estimado correspondiente. Dado que el caudal del fueloil utilizado para el cálculo (q_{mf}) debe estar relacionado con la composición del fueloil

determinada a partir de las muestras de combustible tomadas durante el ensayo, la medición de q_{mf} en el banco de pruebas se corregirá para compensar cualquier diferencia entre los valores caloríficos netos del fueloil utilizado en el banco de pruebas y los del fueloil 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 de conformidad con lo dispuesto en 5.10.

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

6.3.2.1 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
H_a	Humedad absoluta (masa del contenido de agua del aire de admisión del motor en relación con la masa de aire seco)	g/kg
$n_{d,i}$	Régimen del motor (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	min^{-1}
$n_{turb,i}$	Régimen de la turbosoplante (si procede) (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	min^{-1}
p_b	Presión barométrica total (en ISO 3046-1, 1995: p_x = Px = presión ambiente total en el local)	kPa
$p_{C,i}$	Presión del aire de carga después del enfriador del aire de carga (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	kPa
P_i	Potencia al freno (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	kW
$q_{mf,i}$	Flujo de combustible (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	kg/h
s_i	Posición del mando de alimentación de combustible (de cada cilindro, si procede) (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	
T_a	Temperatura del aire de admisión en la entrada de aire (en ISO 3046-1, 1995: T_x = TT_x = temperatura termodinámica ambiente del aire en el local)	K

Símbolo	Parámetro	Unidad
$T_{SC,i}$	Temperatura del aire de carga después del enfriador del aire de carga (si procede) (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	K
T_{caclin}	Temperatura del enfriador del aire de carga en la admisión de refrigerante	°C
$T_{caclout}$	Temperatura del enfriador del aire de carga en la salida de refrigerante	°C
$T_{Exh,i}$	Temperatura de los gases de escape en el punto de muestreo (en la i-ésima modalidad durante el ciclo)	°C
T_{Fuel}	Temperatura del fueloil antes del motor	°C
T_{Sea}	Temperatura del agua de mar	°C

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 (5.1.7) se examinan las cajas de engranaje con acoplamiento directo, en numerosos tipos de utilización, los motores, tal como se presentan 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, de los generadores, pero los motores también se acoplan a bombas, unidades hidráulicas, compresores, etc.

6.3.3.2 Por regla general, los motores que accionan la maquinaria citada en 6.3.3.1 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 régimen–potencia, al mismo tiempo que se garantiza la posibilidad de medir el régimen del motor, bien desde el extremo libre o en relación, por ejemplo, con el régimen del árbol de levas.

6.3.4 *Fueloils de ensayo*

6.3.4.1 En general, toda medición de las emisiones se efectuará mientras el motor funciona con combustible diésel marino de tipo DM, norma ISO 8217:2005.

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 residual de tipo RM, norma ISO 8217:2005, teniendo en cuenta la recomendación del solicitante de la certificación del motor y con la aprobación de la Administración. En tal caso, el nitrógeno del combustible y la calidad de encendido del fueloil podrán influir en las emisiones de NO_x del motor.

6.3.5 *Muestreo de las emisiones gaseosas*

6.3.5.1 Las prescripciones 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. A bordo del buque se tomarán 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. En la sección 5 del apéndice VIII del presente Código se da un ejemplo de brida de conexión de punto de muestreo.

6.3.6 *Equipo de medición y datos que han de medirse*

6.3.6.1 La emisión de contaminantes gaseosos se medirá por los métodos descritos en el capítulo 5.

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

6.3.7.1 En las tablas 3 y 4 de la sección 1.3 del apéndice IV del presente Código se enumeran las diferencias 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*

6.3.8.1 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 utilizados a bordo se ajustarán a 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 en gran medida del ciclo 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 solicitante de la certificación del motor y estarán aprobados por la Administración teniendo en cuenta las disposiciones de 6.4.6.

6.3.10 *Cálculo de las emisiones gaseosas*

6.3.10.1 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 descrito en el presente capítulo, se podrá aceptar un margen del 10 % del valor límite aplicable, pero exclusivamente para los ensayos de confirmación y los reconocimientos intermedios, anuales y de renovación.

6.3.11.2 Las emisiones de NO_x de un motor pueden variar según las características de encendido y el contenido de nitrógeno del fueloil. Si la información disponible sobre la influencia de las características de encendido del fueloil 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 tipo RM (norma ISO 8217:2005), 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 8217:2005, de cualquier otro componente que sea necesario para una especificación clara del fueloil.

6.3.11.3 El margen total concedido para la simplificación de las mediciones a bordo y para el uso de fueloil residual de tipo RM, norma ISO 8217:2005, no excederá en ningún caso el 15 % del valor límite aplicable.

6.4 Método directo de medición y vigilancia

6.4.1 *Generalidades*

6.4.1.1 El procedimiento directo de medición y vigilancia que se describe a continuación podrá aplicarse para la verificación a bordo durante los reconocimientos intermedios, anuales y de renovación.

6.4.1.2 Se prestará la debida atención a las consecuencias para la seguridad que puedan tener la manipulación y proximidad de los gases de escape, el equipo de medición y el almacenamiento y utilización de los gases puros y de calibración almacenados en cilindros. Las posiciones para la toma de muestras y los andamios de acceso serán tales que la vigilancia pueda realizarse en condiciones de seguridad y sin interferir en el motor.

6.4.2 *Medición de los diferentes tipos de emisiones*

6.4.2.1 La vigilancia de las emisiones de NO_x a bordo incluye, como mínimo esencial, la medición de las concentraciones de las emisiones gaseosas de NO_x (como $NO + NO_2$).

6.4.2.2 Si el flujo másico de los gases de escape ha de determinarse por el método de equilibrado del carbono, de conformidad con el apéndice VI del presente Código, se medirá también el CO_2. Además, podrán medirse el CO, HC y O_2.

6.4.3 *Mediciones del rendimiento del motor*

6.4.3.1 En la tabla 7 se enumeran los parámetros de rendimiento del motor que se medirán o calcularán, y se registrarán en cada modalidad durante la vigilancia de NO_x a bordo.

Tabla 7
Parámetros del motor que se han de medir y registrar

Símbolo	Parámetro	Unidad
n_d	Régimen del motor	min^{-1}
p_C	Presión del aire de carga en el receptor	kPa
P	Potencia al freno (como se especifica más abajo)	kW
P_{aux}	Potencia auxiliar (si es pertinente)	kW
T_{sc}	Temperatura del aire de carga en el receptor (si procede)	K
T_{caclin}	Temperatura del enfriador del aire de carga en la admisión de refrigerante (si procede)	°C
$T_{caclout}$	Temperatura del enfriador del aire de carga en la salida de refrigerante (si procede)	°C
T_{Sea}	Temperatura del agua de mar (si procede)	°C
q_{mf}	Flujo de fueloil (como se especifica más abajo)	kg/h

6.4.3.2 Se determinarán y registrarán otros reglajes del motor que sean necesarios para definir las condiciones de funcionamiento del motor, por ejemplo, la salida de descarga, la derivación del aire de carga, el estado de la turbosoplante.

6.4.3.3 Se determinarán y registrarán los reglajes y condiciones de funcionamiento de todo dispositivo de reducción de NO_x.

6.4.3.4 Si es difícil medir la potencia directamente, la potencia al freno no corregida podrá calcularse por otros medios aprobados por la Administración. Los métodos posibles para determinar la potencia al freno son, entre otros, los siguientes:

.1 la medición indirecta, como se estipula en 6.3.3; o

.2 la estimación mediante nomografías.

6.4.3.5 El flujo de fueloil (índice de consumo real) se determinará mediante:

.1 la medición directa; o

.2 los datos del banco de pruebas, de conformidad con 6.3.1.4.

6.4.4 *Medición de las condiciones ambientales*

6.4.4.1 En la tabla 8 se enumeran los parámetros de las condiciones ambientales que se medirán o calcularán, y se registrarán en cada modalidad durante la vigilancia de NO_x a bordo.

Tabla 8
Parámetros de las condiciones ambientales que se han de medir y registrar

Símbolo	Parámetro	Unidad
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
p_b	Presión barométrica total (en la norma ISO 3046-1, 1995: $p_x = P_x$ = presión ambiente total en el local)	kPa
T_a	Temperatura en la entrada de aire (en la norma ISO 3046-1, 1995: $T_x = TT_x$ = temperatura termodinámica ambiente del aire en el local)	K

6.4.5 *Equipo para vigilar el rendimiento del motor y las condiciones ambientales*

6.4.5.1 El equipo para vigilar el rendimiento del motor y las condiciones ambientales se instalará y mantendrá con arreglo a las recomendaciones de los fabricantes de modo que se cumplan las prescripciones de la sección 1.3.2 y de las tablas 3 y 4 del apéndice IV del presente Código respecto de las diferencias admisibles.

6.4.6 *Ciclos de ensayo*

6.4.6.1 Si bien es posible que el motor no siempre funcione como lo requieran algunos de los ciclos de ensayo especificados, el procedimiento de ensayo aprobado por la Administración será lo más parecido posible al definido en 3.2. 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 en gran medida del ciclo de ensayo.

6.4.6.2 En el caso del ciclo de ensayo E3, si la curva real de funcionamiento de la hélice difiere de la curva E3, el punto de la curva que se utilice para aplicar la carga se definirá a partir del régimen del motor, o de la correspondiente presión efectiva media (MEP) o la presión indicada media (MIP), para la modalidad pertinente de dicho ciclo.

6.4.6.3 Si el número de los puntos de medición a bordo difiere del de los bancos de pruebas, el número de puntos de medición y los factores de ponderación conexos deberán ser aprobados por la Administración.

6.4.6.4 Además de lo indicado en 6.4.6.3, si se aplican los ciclos de ensayo E2, E3 o D2, se utilizará un número mínimo de puntos de carga cuyo factor de ponderación nominal combinado, definido en 3.2, sea superior a 0,50.

6.4.6.5 Además de lo indicado en 6.4.6.3, si se aplica el ciclo de ensayo C1, se utilizará un mínimo de un punto de carga de cada una de las secciones correspondientes a los regímenes nominal, intermedio y en vacío. Si hubiera una diferencia entre el número de puntos de medición a bordo y en el banco de pruebas, los coeficientes de ponderación nominal en cada punto de carga se incrementarán proporcionalmente a fin de que el resultado de la suma sea la unidad (1,0).

6.4.6.6 Con respecto a la aplicación de 6.4.6.3, en la sección 6 del apéndice VIII del presente Código figuran orientaciones respecto de la selección de puntos de carga y coeficientes de ponderación revisados.

6.4.6.7 Los puntos de carga reales utilizados para demostrar el cumplimiento oscilarán entre un margen de ± 5 % de la potencia nominal en el valor modal, excepto si la carga es del 100 %, en cuyo caso éstos oscilarán entre +0 y –10 %. Por ejemplo, en el punto de carga del 75 %, la oscilación aceptable estará entre el 70 % y el 80 % de la potencia nominal.

6.4.6.8 En cada punto de carga seleccionado, excepto en vacío, y una vez transcurrido el periodo inicial de transición (si procede), se mantendrá la potencia del motor en el punto de carga determinado con un coeficiente de varianza del 5 % durante un intervalo de 10 minutos. En la sección 7 del apéndice VIII del presente Código figura un ejemplo práctico de cálculo del coeficiente de varianza.

6.4.6.9 Por lo que respecta al ciclo de ensayo C1, se declarará la tolerancia del régimen en vacío, a reserva de que lo apruebe la Administración.

6.4.7 *Parámetro de las condiciones de ensayo*

6.4.7.1 El parámetro de las condiciones de ensayo especificado en 5.2.1 no será aplicable a la vigilancia de los NO_x a bordo. Serán aceptables los datos obtenidos en cualquier condición ambiental.

6.4.8 *Funcionamiento del analizador en servicio*

6.4.8.1 El equipo analizador se hará funcionar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

6.4.8.2 Antes de la medición, se comprobarán el cero y el fondo de escala y se ajustarán los analizadores según sea necesario.

6.4.8.3 Tras la medición, se comprobarán el cero y el fondo de escala del analizador para verificar que están dentro de lo permitido por 5.9.9.

6.4.9 *Datos para el cálculo de las emisiones*

6.4.9.1 Los datos de salida de los analizadores se registrarán tanto durante los ensayos como durante todas las comprobaciones de respuesta (cero y fondo de escala). Esos datos se registrarán en un registrador de papel continuo u otros tipos de instrumentos de registro de datos. La precisión del registro de los datos se ajustará a lo indicado en 5.9.7.1.

6.4.9.2 Para la evaluación de las emisiones gaseosas se obtendrá como promedio un valor mínimo de un 1 Hz durante un intervalo de muestreo estable de 10 minutos para cada punto de carga. Las concentraciones medias de NO_x y, de ser necesario, de CO_2 y, de manera opcional, de CO, HC y O_2, se determinarán utilizando los valores promediados del gráfico y los correspondientes datos de calibración.

6.4.9.3 Las concentraciones de emisiones, el rendimiento del motor y los datos sobre las condiciones ambientales se registrarán, como mínimo, durante el periodo de 10 minutos anteriormente mencionado.

6.4.10 *Caudal de los gases de escape*

6.4.10.1 El caudal de los gases de escape se determinará:

.1 de conformidad con 5.5.2 ó 5.5.3; o

.2 de conformidad con 5.5.4 y el apéndice VI del presente Código, asignándose un valor cero a los gases que no se hayan medido y un valor del 0,03 % a $_{rCO2d}$.

6.4.11 *Composición del fueloil*

6.4.11.1 Para calcular el caudal másico de gas en húmedo, q_{mf}, se obtendrá la composición del fueloil de una de las siguientes formas:

.1 composición del fueloil (carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno) por análisis (podrá adoptarse un valor predeterminado para el oxígeno); o

.2 los valores por defecto que figuran en la tabla 9.

Tabla 9
Parámetros predeterminados del fueloil

	Carbono	Hidrógeno	Nitrógeno	Oxígeno
	w'BET	w'ALF	w'DEL	w'EPS
Fueloil destilado (tipo DM, norma ISO 8217:2005)	86,2 %	13,6 %	0,0 %	0,0 %
Fueloil residual (tipo RM, norma ISO 8217:2005)	86,1 %	10,9 %	0,4 %	0,0 %

6.4.12 *Corrección de la concentración en seco a la concentración en húmedo*

6.4.12.1 En el caso de que no se hayan medido ya en húmedo, las concentraciones de las emisiones gaseosas se convertirán a un valor en húmedo mediante:

.1 medición directa del agua; o

.2 corrección de la concentración en seco a la concentración en húmedo, calculada de conformidad con 5.12.3.

6.4.13 *Corrección de los NO_x para tener en cuenta la humedad y la temperatura*

6.4.13.1 La corrección de los NO_x para tener en cuenta la humedad y la temperatura se realizará de conformidad con 5.12.4. Se indicará la temperatura de referencia del aire de carga (T_{SCRef}), que deberá ser aprobada por la Administración. Los valores de T_{SCRef} han de establecerse por referencia a una temperatura del agua de mar de 25 °C y en la aplicación del valor T_{SCRef} se concederán los márgenes debidos para tener en cuenta la temperatura real del agua de mar.

6.4.14 *Cálculo de los caudales de emisión y de emisiones específicas*

6.4.14.1 El cálculo de los caudales de emisión y de emisiones específicas se efectuará de conformidad con lo dispuesto en 5.12.5 y 5.12.6.

6.4.15 *Valor límite y márgenes*

6.4.15.1 En el caso en que se aplique 6.4.6.3, el valor de emisión obtenido se corregirá, a reserva de la aprobación de la Administración, del siguiente modo:

$$\text{Gas corregido}_x = \text{gas}_x \cdot 0{,}9 \qquad (21)$$

6.4.15.2 El valor de emisión obtenido (gas_x o gas corregido_x, según proceda) se comparará con el límite aplicable de emisión de NO_x que figura en la regla 13 más los márgenes que figuran en 6.3.11.1, 6.3.11.2 y 6.3.11.3, a fin de verificar que el motor sigue cumpliendo las prescripciones de la regla 13.

6.4.16 *Datos para demostrar el cumplimiento*

6.4.16.1 Se demostrará el cumplimiento en los reconocimientos intermedios, anuales y de renovación o tras una modificación apreciable, tal como se define ésta en 1.3.2. De conformidad con 2.4.5, los datos serán recientes, es decir, obtenidos en los últimos 30 días. Los datos se mantendrán a bordo por lo menos durante tres meses. Dichos plazos se computarán cuando el buque esté navegando. Los datos del antedicho periodo de 30 días podrán obtenerse ya sea en una sola secuencia de ensayo en los puntos de carga requeridos, o en dos o más ocasiones distintas cuando la carga del motor se corresponda con la prescrita en 6.4.6.

6.4.17 *Formulario de aprobación*

6.4.17.1 El método directo de medición y vigilancia se consignará en un manual de vigilancia de a bordo. Dicho manual se presentará a la Administración para su aprobación. La referencia de aprobación del manual se incluirá en la sección 3 del Suplemento del Certificado EIAPP. La Administración podrá expedir un nuevo Certificado EIAPP, con los pormenores de la sección 3 del Suplemento debidamente enmendados, si el método se aprueba tras la expedición del primer Certificado EIAPP, es decir, tras el reconocimiento para la certificación previa.

6.4.18 *Reconocimiento del equipo y método aplicable*

6.4.18.1 El reconocimiento del método directo de medición y vigilancia tendrá en cuenta, entre otras cosas, lo siguiente:

.1 los datos obtenidos y elaborados a partir de las mediciones prescritas; y

.2 los medios por los cuales se han obtenido dichos datos, teniendo en cuenta la información indicada en el manual de vigilancia de a bordo prescrito en 6.4.14.

Capítulo 7

Certificación de un motor existente

7.1 En los casos en que un motor existente esté obligado a cumplir lo dispuesto en la regla 13.7, la entidad responsable de obtener la certificación de emisiones presentará a la Administración una solicitud para dicha certificación.

7.2 Si la solicitud para la aprobación del método aprobado incluye mediciones y cálculos de emisiones gaseosas, dichos cálculos y mediciones deberán cumplir lo dispuesto en el capítulo 5.

7.3 Se podrá demostrar que los datos de emisiones y rendimiento obtenidos de un motor son aplicables a una gama de motores.

7.4 El método aprobado para lograr el cumplimiento de la regla 13.7 deberá incluir una copia del expediente de método aprobado, que acompañará al motor durante toda su vida útil a bordo del buque.

7.5 En el expediente de método aprobado se incluirá una descripción del procedimiento de verificación del motor a bordo.

7.6 Tras la instalación del método aprobado, se llevará a cabo un reconocimiento de conformidad con el expediente de método aprobado. Si ese reconocimiento confirma el cumplimiento, la Administración enmendará en consecuencia el Certificado IAPP del buque.

Apéndice I

Modelo de Certificado EIAPP
(Véase el párrafo 2.2.10 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA MOTORES

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

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

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

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

SE CERTIFICA:

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

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

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

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

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

(sello o estampilla de la autoridad)

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

CUADERNILLO DE CONSTRUCCIÓN, EXPEDIENTE TÉCNICO Y MEDIOS DE VERIFICACIÓN

Notas:

1 El presente cuadernillo y sus adiciones acompañarán permanentemente al Certificado EIAPP. El Certificado EIAPP acompañará al motor durante toda su vida útil y estará disponible a bordo del buque en todo momento.

2 El cuadernillo estará redactado como mínimo en español, francés o inglés. Cuando se use también un idioma oficial del país expedidor, dará fe el texto en dicho idioma en caso de controversia o discrepancia.

3 A menos que se indique lo contrario, las reglas mencionadas en el presente cuadernillo son las reglas del Anexo VI del Convenio, y las prescripciones relativas al expediente técnico y los medios de verificación son las prescripciones obligatorias del Código Técnico sobre los NOx 2008.

1 Pormenores del motor

1.1 Nombre y dirección del fabricante .....
1.2 Lugar de construcción del motor .....
1.3 Fecha de construcción del motor .....
1.4 Lugar del reconocimiento de certificación previa .....
1.5 Fecha del reconocimiento de certificación previa .....
1.6 Tipo de motor y número del modelo.....
1.7 Número de serie del motor.....
1.8 En caso pertinente indicar: si el motor es un motor de referencia ☐ o un motor perteneciente ☐ a la siguiente familia ☐ o grupo ☐ de motores .....
1.9 Pormenores del motor o de la familia/grupo de motores: .....
1.9.1 Referencia de aprobación .....
1.9.2 Valores/gama de valores de potencia nominal (kW) y régimen nominal (rpm) .....
1.9.3 Ciclo(s) de ensayo .....
1.9.4 Especificación de fueloil de ensayo del motor o motores de referencia .....
1.9.5 Límite aplicable de emisión de NO_x (g/kWh), regla 13.3, 13.4 o 13.5.1 (táchese según proceda) .....
1.9.6 Valores de emisiones del motor o motores de referencia (g/kWh) .....

2 Pormenores del expediente técnico

El expediente técnico, prescrito en el capítulo 2 del Código Técnico sobre los NO_x 2008, es parte esencial del Certificado EIAPP y deberá acompañar siempre al motor durante toda su vida útil y estar siempre disponible a bordo del buque.

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

3 Especificaciones relativas a los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo

Las especificaciones relativas a los procedimientos de verificación de los NO_x a bordo prescritos en el capítulo 6 del Código Técnico sobre los NO_x 2008 son parte esencial del Certificado EIAPP y deberán acompañar siempre al motor durante toda su vida útil y estar siempre disponibles a bordo del buque.

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

También se puede utilizar el método de medición simplificado descrito en el párrafo 6.3 del Código Técnico sobre los NO_x 2008.

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

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

(sello o estampilla de la autoridad)

Apéndice II

Diagramas de operaciones para el reconocimiento y la certificación de los motores diésel marinos

(Véanse los párrafos 2.2.9 y 2.3.11 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

En las figuras 1, 2 y 3 del presente apéndice se ofrecen orientaciones para cumplir las disposiciones sobre reconocimiento y certificación de los motores diésel marinos, según se describen en el capítulo 2 del presente Código.

Figura 1: Reconocimiento de certificación previa en las instalaciones del fabricante

Figura 2: Reconocimiento inicial a bordo del buque

Figura 3: Reconocimiento intermedio, anual o de renovación a bordo del buque

Nota: Estos diagramas de operaciones no muestran los criterios para la certificación de los motores existentes que se prescribe en la regla 13.7.

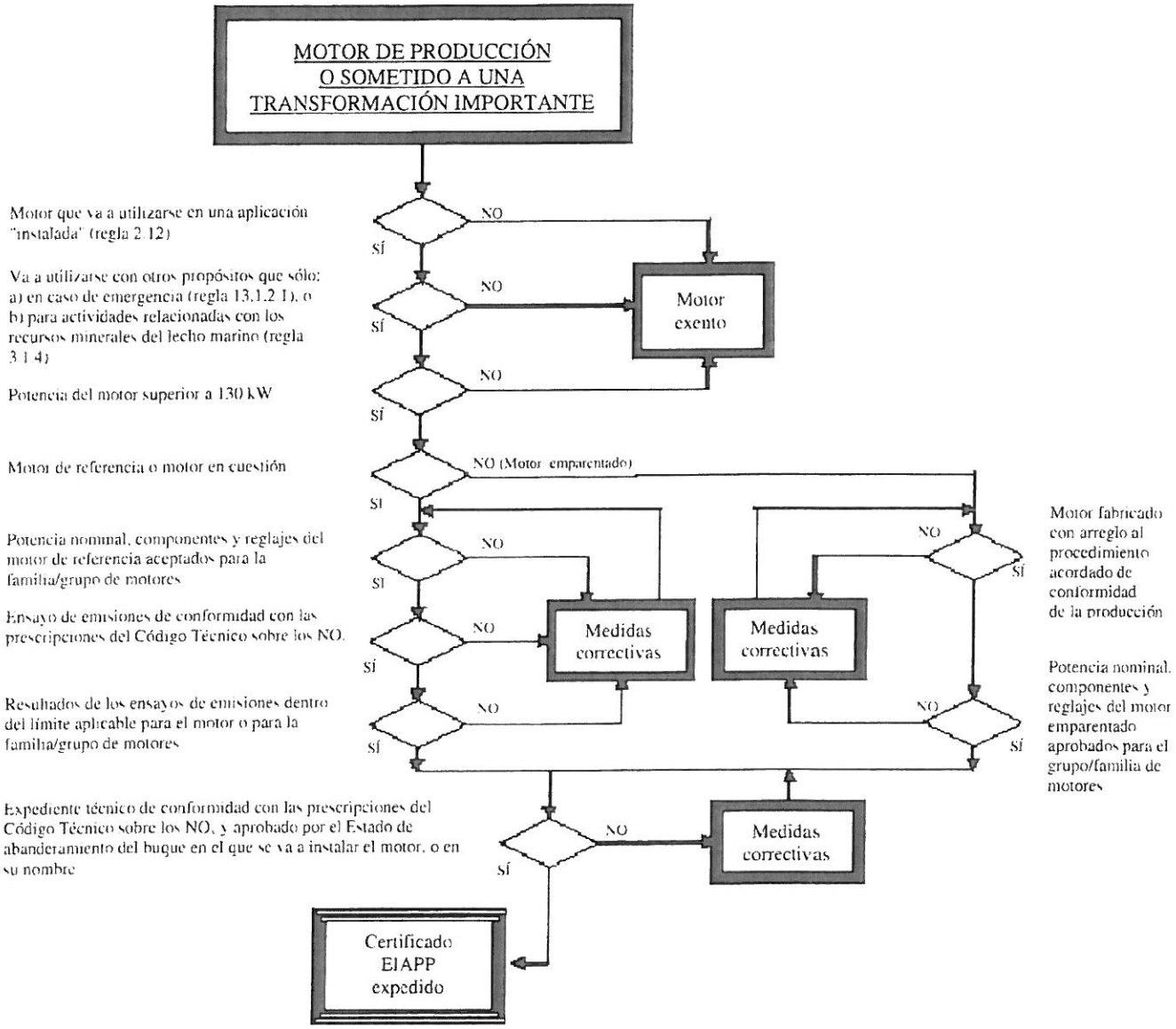


Figura 1 – Reconocimiento de certificación previa en las instalaciones del fabricante

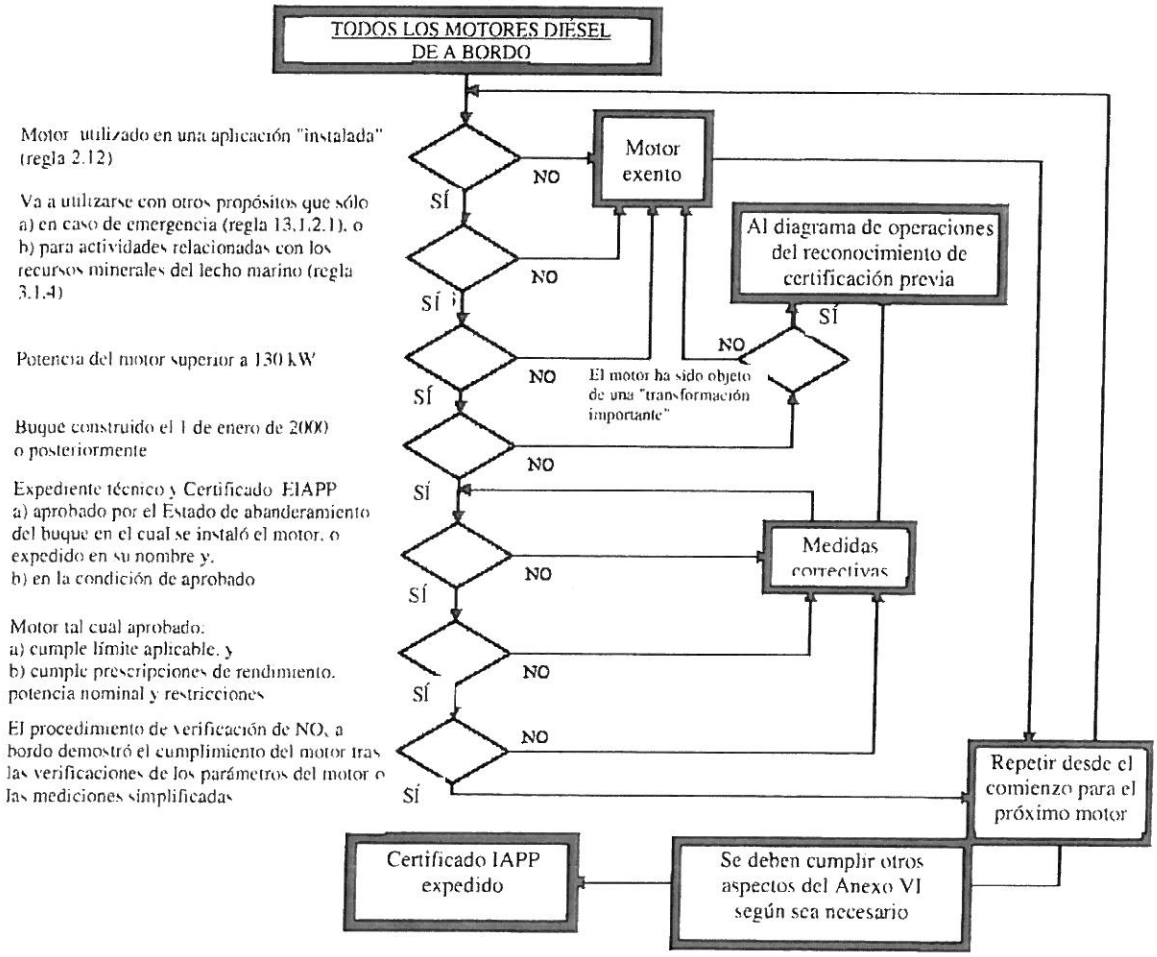


Figura 2 – Reconocimiento inicial a bordo del buque

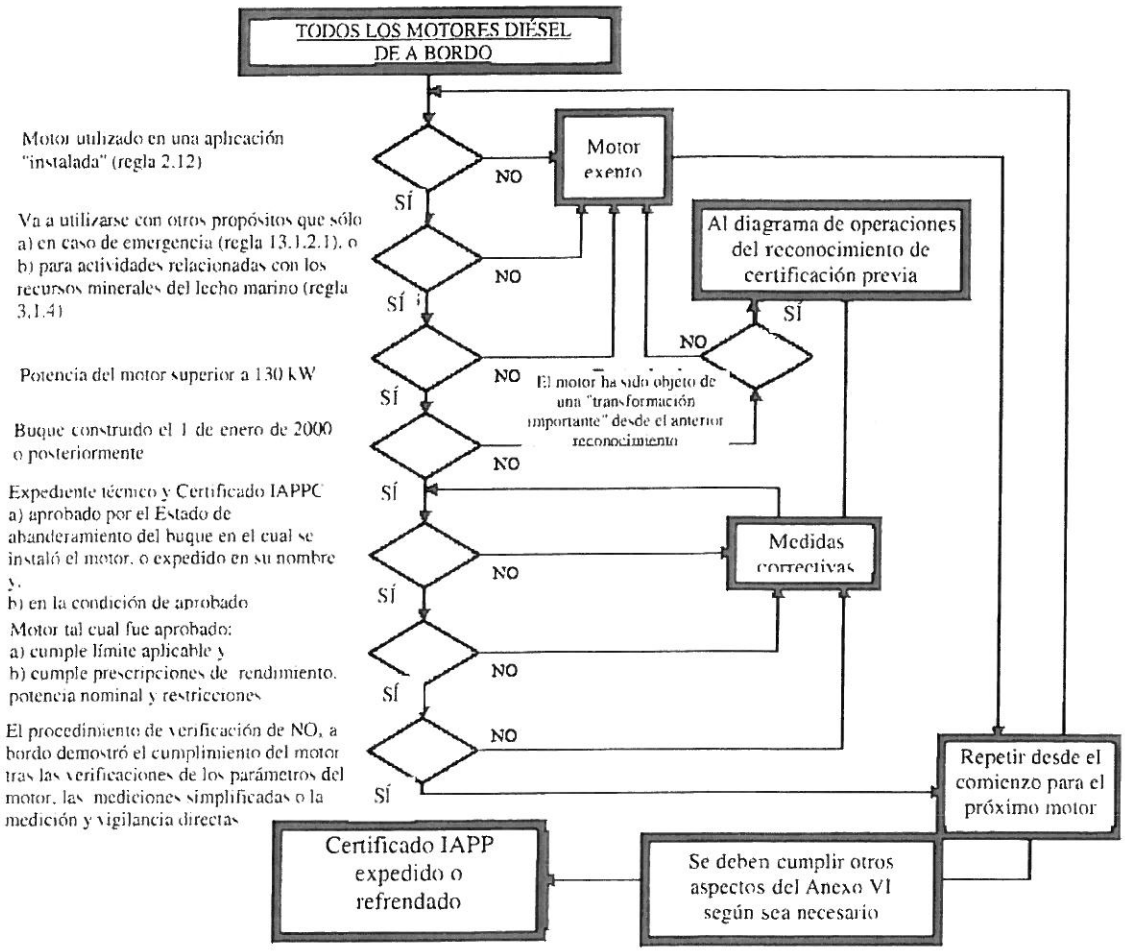


Figura 3 – Reconocimiento intermedio, anual o de renovación a bordo del buque

Apéndice III

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

(Véase el capítulo 5 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

1 Generalidades

1.1 En la figura 1 pueden verse los componentes de un sistema de análisis de gases de escape para determinar las concentraciones de CO, CO_2, NO_x, HC y O_2. Todos los componentes que se encuentran en el circuito de gas de muestreo deben mantenerse a las temperaturas especificadas para los sistemas respectivos.

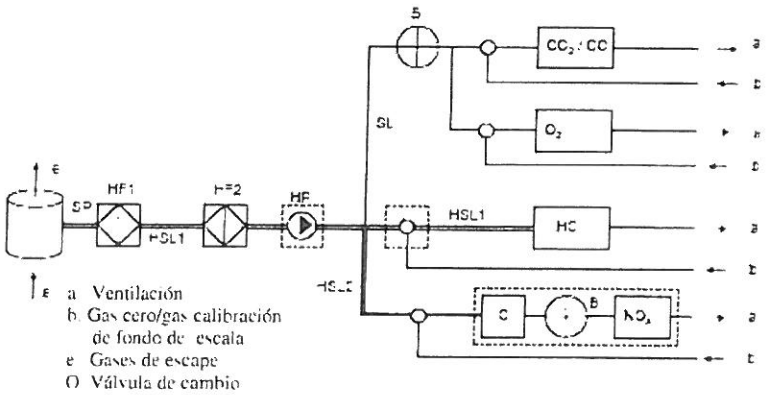


Figura 1 – Disposición del sistema de análisis de los gases de escape

1.2 El sistema de análisis de los gases de escape incluirá los siguientes componentes. De conformidad con el capítulo 5 del presente Código podrán aceptarse disposiciones y componentes equivalentes, a reserva de que los apruebe la Administración.

.1 SP – Sonda de muestreo de los gases de escape brutos

Sonda recta de acero inoxidable, de varios orificios y cerrada en su extremo. El diámetro interior no será mayor que el diámetro interior del conducto de muestreo. La pared de la sonda debería tener un espesor máximo de 1 mm. Debería haber un mínimo de tres orificios en tres planos radiales diferentes, dimensionados para que pase por todos ellos aproximadamente el mismo caudal de muestreo.

Para los gases de escape brutos, la muestra para todos los componentes se podrá tomar con una sonda de muestreo o con dos sondas de muestreo muy próximas y divididas internamente para los distintos analizadores.

Nota: Si existe la posibilidad de que las pulsaciones de escape o las vibraciones del motor afecten a la sonda de muestreo, podrá utilizarse una sonda con un espesor mayor de pared, a reserva de que lo apruebe la Administración.

.2 HSL1 – Conducto de muestreo calentado

El conducto de muestreo conduce la muestra de gas desde una única sonda hasta el punto o puntos de separación y al analizador de HC. El conducto de muestreo será de acero inoxidable o de politetrafluoretileno (PTFE) y tendrá un diámetro interior de 5 mm como mínimo y 13,5 mm como máximo.

La temperatura de los gases de escape en la sonda de muestreo no será inferior a 190 °C. La temperatura de los gases de escape transportados desde el punto de muestreo al analizador se mantendrá utilizando un filtro calentado y un conducto de transferencia calentado cuya pared esté a una temperatura de 190 °C ± 10 °C.

Si la temperatura de los gases de escape en la sonda de muestreo es superior a 190 °C, la pared deberá mantenerse a una temperatura superior a 180 °C.

Inmediatamente antes del filtro calentado y del analizador de HC la temperatura de los gases se mantendrá a 190 °C ± 10 °C.

.3 HSL2 – Conducto de muestreo calentado para NO_x

El conducto de muestreo será de acero inoxidable o de PTFE y su pared estará a una temperatura de entre 55 °C y 200 °C hasta el convertidor C, cuando se utilice una unidad de refrigeración B, y hasta el analizador, cuando no se utilice una unidad de refrigeración B.

.4 HF1 – Prefiltro calentado (opcional)

Se mantendrá la misma temperatura que para el HSL1.

.5 HF2 – Filtro calentado

El filtro extraerá todas las partículas sólidas de la muestra de gas antes del analizador. Estará a la misma temperatura que el HSL1. El filtro se cambiará según sea necesario.

.6 HP – Bomba de muestreo calentada (opcional)

La bomba se calentará a la misma temperatura que el HSL1.

.7 SL – Conducto de muestreo para CO, CO_2 y O_2

El conducto será de PTFE o de acero inoxidable. Podrá incorporar o no un sistema de calefacción.

.8 CO_2/CO – Analizadores de dióxido de carbono y de monóxido de carbono

Analizadores de absorción de infrarrojos no dispersivos (NDIR). Podrán ser dos analizadores distintos o dos funciones incorporadas en un solo dispositivo analizador.

.9 HC – Analizador de hidrocarburos

Detector de ionización de llama calentado (HFID). Se mantendrá la temperatura entre 180 °C y 200 °C.

.10 NO_x – Analizador de óxidos de nitrógeno

Detector quimioluminiscente (CLD) o detector quimioluminiscente calentado (HCLD). Si se utiliza un HCLD, éste se mantendrá a una temperatura de entre 55 °C y 200 °C.

Nota: En el diagrama de la figura, el NO_x se mide en seco. El NO_x también puede medirse en húmedo, en cuyo caso se utilizará un analizador de tipo HCLD.

.11 C – Convertidor

Se utilizará un convertidor para la reducción catalítica de NO_2 a NO antes del análisis con el CLD o el HCLD.

.12 O_2 – Analizador de oxígeno

Detector paramagnético (PMD), de dióxido de circonio (ZRDO), o sensor electroquímico (ECS).

Nota: En el esquema de la figura, el O_2 se mide en seco. El O_2 también puede medirse en húmedo, en cuyo caso se utilizará un analizador de tipo ZRDO.

.13 B – Unidad de refrigeración

Utilizada para refrigerar y condensar el agua contenida en la muestra de gases de escape. La unidad de refrigeración se mantendrá a una temperatura de entre 0 °C y 4 °C utilizando hielo o un sistema de refrigeración. Si se elimina el agua por condensación, se controlará la temperatura o punto de rocío de la muestra de gas, ya sea en el interior del colector de agua o más abajo en la dirección de la corriente. La temperatura o el punto de rocío de la muestra de gas no será superior a 7 °C.

1.3 Los analizadores tendrán una capacidad de medición adecuada para la precisión requerida a fin de medir las concentraciones de los componentes de los gases de escape (véanse los párrafos 1.6 y 5.9.7.1 del presente Código). 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, siendo la escala completa la gama de valores utilizada.

1.4 Si la escala completa es 155 ppm (o ppm de C) o menos, o si se utilizan sistemas de lectura (ordenadores, registradores de datos) 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 calibraciones adicionales para garantizar la precisión de las curvas de calibración.

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

1.6 **Exactitud**

1.6.1 Definiciones

ISO 5725-1:1994/Cor.1:1998, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1: General principles and definitions, Technical Corrigendum 1.*

ISO 5725-2:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: A basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.*

1.6.2 Los analizadores no se desviarán del punto de calibración nominal más de ± 2 % de los valores obtenidos en la totalidad de la escala de medición exceptuando el valor cero, ó de ± 0,3 % de la escala completa, si este valor es mayor. La exactitud se determinará de conformidad con las prescripciones sobre calibración recogidas en la sección 5 del apéndice IV del presente Código.

1.7 **Precisión**

La precisión, definida como 2,5 veces la desviación normal de 10 respuestas repetitivas a un gas de calibración o a un gas de calibración de fondo de escala determinado, no será superior a ± 1 % de la escala completa de la concentración para cada gama utilizada por encima de 100 ppm (o ppm de C) o ± 2 % de cada gama de valores utilizada por debajo de 100 ppm (o ppm de C).

1.8 **Ruido**

La respuesta de cresta a cresta del analizador al gas cero o al gas de calibración o de calibración de fondo de escala medida en cualquier periodo de 10 segundos no excederá del 2 % de la escala completa para todas las gamas de valores utilizadas.

1.9 **Deriva del cero**

La respuesta cero se define como la respuesta media, incluido el ruido, a un gas cero durante un intervalo de 30 segundos. La deriva de la respuesta cero ocurrida durante un periodo de una hora será inferior al 2 % de la escala completa en la gama de valores más baja utilizada.

1.10 **Deriva de fondo de escala**

La respuesta de fondo de escala se define como la respuesta media, incluido el ruido, a un gas de calibración de fondo de escala durante un intervalo de 30 segundos. La deriva de la respuesta de fondo de escala ocurrida durante un periodo de una hora será inferior al 2 % de la escala completa en la gama de valores más baja utilizada.

2 **Secado del gas**

Los gases de escape pueden medirse en seco o en húmedo. Si se utiliza un dispositivo de secado del gas, éste deberá tener un efecto mínimo en la composición de los gases medidos. Los secadores químicos no constituyen un método aceptable para extraer el agua de la muestra.

3 Analizadores

En las secciones 3.1 a 3.5 se describen los principios de medición que deberán utilizarse. Los gases que vayan a medirse se analizarán con los instrumentos que se indican a continuación. En el caso de analizadores no lineales, se permite el uso de circuitos de linealización.

3.1 Análisis del monóxido de carbono (CO)

El analizador de monóxido de carbono será un analizador de absorción de infrarrojos no dispersivos (NDIR).

3.2 Análisis del dióxido de carbono (CO_2)

El analizador del dióxido de carbono será un analizador de absorción de infrarrojos no dispersivos (NDIR).

3.3 Análisis de los hidrocarburos (HC)

El analizador de hidrocarburos será de tipo detector de ionización de llama calentado (HFID) con detector, válvulas, tuberías y componentes asociados calentados para mantener los gases a una temperatura de 190 °C ± 10 °C.

3.4 Análisis de los óxidos de nitrógeno (NO_x)

El analizador de óxidos de nitrógeno será de tipo detector quimioluminiscente (CLD) o detector quimioluminiscente calentado (HCLD) con un convertidor NO_2/NO si la medición se realiza en seco. Cuando la medición se realice en húmedo, se utilizará un HCLD con convertidor, mantenido a una temperatura de más de 55 °C siempre que se efectúe la comprobación del efecto de mitigación del agua (véase la sección 9.2.2 del apéndice IV del presente Código). Tanto con CLD como con HCLD, la pared del circuito de muestreo se mantendrá a una temperatura de entre 55 °C y 200 °C hasta el convertidor (si la medición se hace en seco) o hasta el analizador (si la medición se realiza en húmedo).

3.5 Análisis del oxígeno (O_2)

El analizador de oxígeno será de tipo detector paramagnético (PMD), de dióxido de circonio (ZRDO) o de sensor electroquímico (ECS).

Apéndice IV

Calibración de los instrumentos de análisis y medición
(Véanse los capítulos 5 y 6 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

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 que se especifique 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 informe del motor, de conformidad con lo dispuesto en la sección 5.10 del presente Código.

1.3 *Precisión de los instrumentos de análisis*

1.3.1 La calibración de todos los instrumentos de medición deberá cumplir las prescripciones estipuladas en las tablas 1, 2, 3 y 4 y aplicará normas reconocidas por la Administración. La Administración podrá prescribir mediciones adicionales del motor y dichos instrumentos de medición adicionales utilizados deberán cumplir la norma de desviación adecuada y el periodo de validez de calibración.

1.3.2 Los instrumentos se calibrarán:

.1 a intervalos de tiempo no superiores a los estipulados en las tablas 1, 2, 3 y 4; o

.2 de conformidad con otros periodos de validez y procedimientos de calibración a reserva de que dichas propuestas se presenten con anterioridad a los ensayos y sean aprobadas por la Administración.

Nota: Las desviaciones especificadas en las tablas 1, 2, 3 y 4 se refieren al valor registrado final, que incluye el sistema de adquisición de datos.

Tabla 1
Desviaciones admisibles y periodos de validez de calibración de los instrumentos para medir los parámetros relacionados con el motor en un banco de pruebas

N°	Instrumento de medición	Desviación admisible	Periodo de validez de la calibración (meses)
1	Régimen del motor	± 2 % del valor obtenido o ± 1 % del valor máximo del motor, si éste es superior	3
2	Par	± 2 % del valor obtenido o ± 1 % del valor máximo del motor, si éste es superior	3
3	Potencia (cuando se mida directamente)	± 2 % del valor obtenido o ± 1 % del valor máximo del motor, si éste es superior	3

N°	Instrumento de medición	Desviación admisible	Periodo de validez de la calibración (meses)
4	Consumo de combustible	± 2 % del valor máximo del motor	6
5	Consumo de aire	± 2 % del valor obtenido o ± 1 % del valor máximo del motor, si éste es superior	6
6	Flujos de gases de escape	± 2,5 % del valor obtenido o ± 1,5 % del valor máximo del motor, si éste es superior	6

Tabla 2

Desviaciones admisibles e intervalos de calibración de los instrumentos para medir otros parámetros esenciales en el banco de pruebas

N°	Instrumento de medición	Desviación admisible	Periodo de validez de la calibración (meses)
1	Temperaturas ≤ 327 °C	± 2 °C absoluta	3
2	Temperaturas > 327 °C	± 1 % del valor obtenido	3
3	Presión de los gases de escape	± 0,2 kPa absoluta	3
4	Presión del aire de carga	± 0,3 kPa absoluta	3
5	Presión atmosférica	± 0,1 kPa absoluta	3
6	Otras presiones ≤ 1 000 kPa	± 20 kPa absoluta	3
7	Otras presiones > 1 000 kPa	± 2 % del valor obtenido	3
8	Humedad relativa	± 3 % absoluta	1

Tabla 3

Desviaciones admisibles y periodos de validez de la calibración de los instrumentos para medir los parámetros del motor a bordo del buque cuando el motor ya tiene una certificación previa

N°	Instrumento de medición	Desviación admisible	Periodo de validez de la calibración (meses)
1	Régimen del motor	± 2 % del valor máximo del motor	12
2	Par	± 5 % del valor máximo del motor	12
3	Potencia (cuando se mida directamente)	± 5 % del valor máximo del motor	12
4	Consumo de combustible	± 4 % del valor máximo del motor	12
5	Consumo de aire	± 5 % del valor máximo del motor	12
6	Flujo de los gases de escape	± 5 % del valor máximo del motor	12

Tabla 4
Desviaciones admisibles del periodo de validez de la calibración de los instrumentos para la medición de otros parámetros esenciales a bordo del buque cuando el motor ya tiene una certificación previa

N°	Instrumento de medición	Desviación admisible	Periodo de validez de la calibración (meses)
1	Temperaturas ≤ 327 °C	± 2 °C absoluta	12
2	Temperaturas > 327 °C	± 15 °C absoluta	12
3	Presión de los gases de escape	± 5% del valor máximo del motor	12
4	Presión del aire de carga	± 5 % del valor máximo del motor	12
5	Presión atmosférica	± 0,5 % del valor obtenido	12
6	Otras presiones	± 5 % del valor obtenido	12
7	Humedad relativa	± 3 % absoluta	6

2 Gases de calibración, gas cero y gas de calibración de fondo de escala

No se excederá la fecha límite de conservación de todos los gases de calibración, del gas cero y del gas de calibración de fondo de escala. Se registrará la fecha de caducidad indicada por el fabricante para los gases de calibración, el gas cero y el gas de calibración de fondo de escala.

2.1 *Gases puros (incluido los gases de comprobación del cero)*

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:

.1 nitrógeno purificado (contaminación ≤ 1 ppm de C, ≤ 1 ppm de CO, ≤ 400 ppm de CO_2, ≤ 0,1 ppm de NO);

.2 oxígeno purificado (pureza > 99,5 % en volumen de O_2);

.3 mezcla hidrógeno-helio (40 ± 2 % de hidrógeno, el resto de helio), (contaminación ≤ 1 ppm de C, ≤ 400 ppm de CO_2); y

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

2.2 *Gases de calibración y de calibración de fondo de escala*

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 calibración no deberá exceder del 5 % del contenido de NO);

.3 O_2 y nitrógeno purificado;

.4 CO_2 y nitrógeno purificado; y

.5 CH_4 y aire sintético purificado o C_3H_8 y aire sintético purificado.

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

2.2.2 La concentración real del gas de calibración y de calibración de fondo de escala ha de ser el valor nominal ± 2 %. Todas las concentraciones de los gases de calibración y de calibración de fondo de escala se expresarán en volumen (porcentaje en volumen o ppm en volumen).

2.2.3 Los gases utilizados para la calibración y la calibración de fondo de escala también podrán obtenerse utilizando dispositivos de mezclado de precisión (separadores 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 calibración mezclados con una precisión de ± 2 %. Esta precisión implica que los gases primarios utilizados para la mezcla deben conocerse con una precisión mínima del ± 1 %, que corresponda a las normas nacionales o internacionales para gases. La verificación se realizará en un valor comprendido entre el 15 % y el 50 % de la escala completa para cada calibración que incorpore un aparato de mezcla. Como alternativa, podrá comprobarse el aparato de mezcla con un instrumento de carácter lineal, por ejemplo, utilizando gas NO con un CLD. El fondo de escala del instrumento se ajustará con el gas de calibración de fondo de escala directamente conectado al mismo. El aparato de mezcla se comprobará en los reglajes utilizados, y se comparará el valor nominal con la concentración medida del instrumento. La diferencia en cada punto no deberá ser superior al ± 1 % del valor nominal. Esta comprobación de linealidad del separador de gases no deberá realizarse con un analizador de gases que haya sido previamente linealizado con el mismo separador de gases.

2.2.4 Los gases de comprobación de interferencia de oxígeno contendrán propano o metano con 350 ppm de C ± 75 ppm de C de hidrocarburos. El valor de la concentración se determinará con arreglo a las tolerancias del gas de calibración mediante un análisis cromatográfico de los hidrocarburos totales más impurezas o mediante una mezcla dinámica. El nitrógeno será el diluyente predominante, siendo el resto oxígeno. Las mezclas requeridas se enumeran en la tabla 5.

Tabla 5
Gases de comprobación de la interferencia de oxígeno

Concentración de O_2	Resto
21 (20 a 22)	Nitrógeno
10 (9 a 11)	Nitrógeno
5 (4 a 6)	Nitrógeno

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 se taponará el extremo del mismo. Se encenderá la bomba del analizador. Tras un periodo inicial de estabilización, todos los caudalímetros 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 de aspiración será un 0,5 % del caudal en servicio para la parte del sistema que se esté verificando. Podrán utilizarse los flujos del analizador y de derivación para calcular los caudales en servicio.

4.3 Otro método consiste en efectuar un cambio escalonado de la concentración al comienzo del tubo de muestreo, sustituyendo el gas cero por un gas de calibración de fondo de escala. Si tras un periodo adecuado se observa que la concentración es más baja que la del gas introducido, esto significa que existe un problema de calibración o de fuga.

4.4 Podrán aceptarse otras disposiciones a reserva de que lo apruebe la Administración.

5 Procedimiento de calibración

5.1 *Instrumental*

Se calibrará el instrumental y se compararán las curvas de calibración con las de 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 *Analizadores NDIR y HFID*

Siempre que sea necesario se regulará el analizador NDIR y se optimizará la llama de combustión del analizador HFID.

5.4 *Calibración*

5.4.1 Se calibrará cada una de las gamas de funcionamiento normalmente utilizadas. Los analizadores se habrán calibrado como máximo tres meses antes de utilizarse para ensayos o siempre que se haga una reparación o modificación al sistema que pueda afectar a la calibración, o según se estipula en 1.3.2.2.

5.4.2 Los analizadores de CO, CO_2, NO_x y O_2 se pondrán a cero utilizando aire sintético purificado (o nitrógeno). El analizador HFID se pondrá a cero utilizando aire sintético purificado.

5.4.3 Una vez introducidos en los analizadores los gases de calibración apropiados, se registrarán los valores y se establecerá la curva de calibración.

5.5 *Establecimiento de la curva de calibración*

5.5.1 Orientaciones generales

5.5.1.1 La curva de calibración se trazará utilizando como mínimo seis puntos de calibración (excluido el cero), espaciados a intervalos aproximadamente iguales dentro de la gama de funcionamiento, desde cero hasta el mayor valor previsto durante los ensayos de emisiones.

5.5.1.2 La curva de calibración se calculará por el método de mínimos cuadrados. Podrá utilizarse una ecuación lineal o no lineal aproximada.

5.5.1.3 Los puntos de calibración no deberán diferir de la línea de mínimos cuadrados aproximada en más del ± 2 % del valor obtenido o más del ± 0,3 % de la escala completa, si estos valores son superiores.

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

5.5.1.5 Si se demuestra que con otros métodos de calibración (por ejemplo, ordenador, interruptor de gama de control electrónico, etc.) se puede obtener una precisión equivalente, dichas variantes podrán utilizarse a reserva de que las apruebe la Administración.

6 Verificación de la calibración

6.1 Cada gama de funcionamiento normalmente utilizada se comprobará antes de cada análisis, de conformidad con el procedimiento siguiente:

.1 se verificará la calibración utilizando un gas cero y un gas de calibración de fondo de escala cuyo valor nominal sea superior al 80 % de la escala completa de la gama de medición; y

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

7 Prueba de eficacia del convertidor de NO_x

La prueba de la eficacia del convertidor utilizado para la conversión de NO_2 en NO se llevará a cabo según se indica en las secciones 7.1 a 7.10 siguientes.

7.1 *Montaje de ensayo*

Utilizando el montaje de ensayo que aparece representado en la figura 1 y el procedimiento indicado a continuación, se someterá a ensayo la eficacia del convertidor mediante un ozonizador.

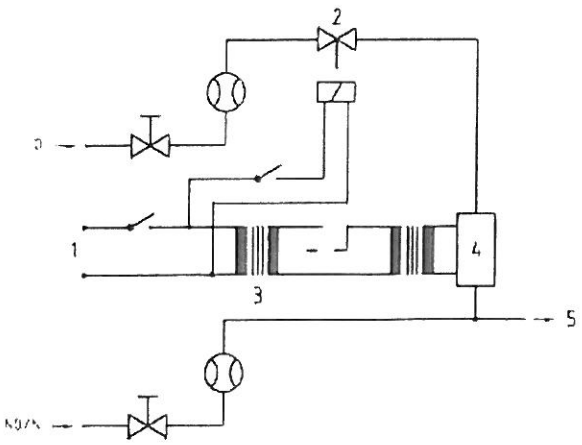


Figura 1 – Diagrama del dispositivo de ensayo de la eficacia del convertidor de NO_2

1	Corriente alterna	4	Ozonizador
2	Válvula solenoide	5	Hacia el analizador
3	Transformador variable		

7.2 *Calibración*

El CLD y el HCLD se calibrarán en la gama de funcionamiento más común de acuerdo con las especificaciones del fabricante y utilizando gas cero y gas de calibración de fondo de escala (el contenido de NO de este último deberá ser aproximadamente del 80 % de la gama de funcionamiento y la concentración de NO_2 de la mezcla gaseosa deberá 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 calibración de fondo de escala 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:

$$E_{NOx} = \left(1 + \frac{a-b}{c-d}\right) \times 100 \qquad (1)$$

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 añade continuamente oxígeno o aire cero al flujo de gas hasta que la concentración indicada sea alrededor de un 20 % inferior a la concentración de calibración indicada en el párrafo 7.2 *supra*. El analizador ha de estar en la modalidad NO.

7.4.2 Se registrará la concentración (c) indicada. El ozonizador ha de mantenerse desactivado durante todo el proceso.

7.5 *Activación del ozonizador*

A continuación se activa el ozonizador de manera que genere suficiente ozono para reducir la concentración de NO al 20 % aproximadamente (mínimo: 10 %) de la concentración de calibración dada en 7.2 *supra*. Se consignará la concentración (*d*) indicada. El analizador ha de estar en la modalidad NO.

7.6 *Modalidad NO_x*

A continuación se pondrá el analizador de NO en la modalidad NO_x, de manera que la mezcla gaseosa (constituida por NO, NO_2, O_2 y N_2) pase por el convertidor. Se consignará la concentración *(a)* indicada. El analizador ha de estar en la modalidad NO_x.

7.7 *Desactivación del ozonizador*

Después se desactiva el ozonizador y la mezcla de gases descrita en 7.6 pasa por el convertidor al detector. Se consignará la concentración *(b)* indicada. El analizador está en la modalidad NO_x.

7.8 *Modalidad NO*

Al ponerlo en la modalidad NO con el ozonizador desactivado, se interrumpe también el flujo de oxígeno o de aire sintético. La lectura de NO_x del analizador no deberá apartarse más del ± 5 % del valor medido de conformidad con 7.2 *supra*. El analizador ha de estar en la modalidad NO.

7.9 *Intervalo de ensayo*

Se tendrá que verificar la eficacia del convertidor antes de cada calibración del analizador de NO_x.

7.10 *Prescripción de eficacia*

La eficacia del convertidor no será inferior al 90 %.

8 Ajuste del HFID

8.1 *Optimización de la respuesta del detector*

8.1.1 El HFID se ajustará según las indicaciones del fabricante. A fin de optimizar la respuesta en la gama de funcionamiento más común se utilizará un gas de calibración de fondo de escala constituido por propano en aire.

8.1.2 Con los caudales de combustible y de aire ajustados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, se introducirá en el analizador un gas de calibración de fondo de escala de 350 ± 75 ppm de C. La respuesta a un flujo de combustible dado estará determinada por la diferencia entre la respuesta del gas de calibración de fondo de escala y la respuesta del gas cero. El flujo de combustible se ajustará de modo gradual por encima y por debajo del valor especificado por el fabricante. Se registrará la respuesta de fondo de escala y cero a los flujos de combustible mencionados. Se representará gráficamente la diferencia entre la respuesta de fondo de escala y cero, y se ajustará el flujo de combustible del lado de la curva de mayor concentración. Éste es el reglaje inicial de caudal, el cual es posible que, posteriormente, tenga

que ser optimizado en función de los resultados de los factores de respuesta a los hidrocarburos y de la comprobación de la interferencia de oxígeno con arreglo a 8.2 y 8.3.

8.1.3 Si la interferencia de oxígeno o los factores de respuesta a los hidrocarburos no se ajustan a las especificaciones siguientes, el flujo de aire se ajustará de modo gradual por encima y por debajo del valor especificado por el fabricante, y se repetirá lo indicado en 8.2 y 8.3 para cada flujo.

8.1.4 También existe la opción de efectuar la optimización siguiendo procedimientos alternativos, a reserva de que los apruebe la Administración.

8.2 *Factores de respuesta a los hidrocarburos*

8.2.1 Se calibrará el analizador utilizando propano en aire y aire sintético purificado, de acuerdo con lo señalado en la sección 5.

8.2.2 Los factores de respuesta se determinarán al poner un analizador en servicio y tras prolongados intervalos de servicio. El factor de respuesta (r_h) para una determinada variedad de hidrocarburo es la relación entre el valor obtenido con el HFID en ppm de C y la concentración de gases en el cilindro expresada en ppm de C.

8.2.3 El nivel de concentración del gas sometido a ensayo deberá ser el adecuado para que proporcione una respuesta de aproximadamente el 80 % de la escala completa. La concentración deberá conocerse con una precisión de ± 2 % en relación con un patrón gravimétrico expresado en volumen. Asimismo, la botella de gas deberá preacondicionarse durante 24 horas a una temperatura de 25°C ± 5°C.

8.2.4 Los gases que se utilizarán en el ensayo y los límites recomendados para los correspondientes factores de respuesta relativos son los indicados a continuación:

–	metano y aire sintético purificado	$1{,}00 \leq r_h \leq 1{,}15$
–	propileno y aire sintético purificado	$0{,}90 \leq r_h \leq 1{,}1$
–	tolueno y aire sintético purificado	$0{,}90 \leq r_h \leq 1{,}1$

Estos valores están referidos al factor de respuesta r_h 1 para propano y aire sintético purificado.

8.3 *Comprobación de la interferencia de oxígeno*

8.3.1 La interferencia de oxígeno se comprobará al poner un analizador en servicio y después de largos intervalos de utilización.

8.3.2 Se escogerá una gama de valores en el que los gases de comprobación de la interferencia de oxígeno se sitúen en el 50 % superior. El ensayo se realizará con el horno a la temperatura necesaria. Los gases de comprobación de la interferencia de oxígeno se especifican en 2.2.4.

.1 El analizador se pondrá a cero.

.2 Se determinará el fondo de escala del analizador con la mezcla de 21 % de oxígeno.

.3 Se volverá a comprobar la respuesta cero. Si ha cambiado más de un 0,5 % de la escala completa, se repetirán los pasos 8.3.2.1 y 8.3.2.2.

.4 Se introducirán los gases de comprobación de la interferencia de oxígeno al 5 % y 10 %.

.5 Se volverá a comprobar la respuesta cero. Si ha cambiado más de un ± 1 % de la escala completa, se repetirá el ensayo.

.6 Se calculará la interferencia de oxígeno ($\%O_2I$) para cada mezcla del paso .4 de la manera siguiente:

$$\%O_2I = \frac{(B - respuesta\ del\ analizador)}{B} \times 100 \qquad (2)$$

donde:

la respuesta del analizador es (A/% FS en A) x (%FS en B)

siendo:

A = concentración de hidrocarburos en ppm de C (microlitros por litro) del gas de calibración de fondo de escala utilizado en 8.3.2.2

B = concentración de hidrocarburos (ppm de C) de los gases de comprobación de la interferencia de oxígeno utilizados en 8.3.2.4

$$(ppmC) = \frac{A}{D} \qquad (3)$$

D = porcentaje de la respuesta del analizador en la escala completa debido a A

.7 El porcentaje de interferencia del oxígeno ($\%O_2I$) será inferior al ± 3,0 % para todos los gases de comprobación de la interferencia de oxígeno requeridos antes de realizar el ensayo.

.8 Si la interferencia de oxígeno es superior a un ± 3,0 %, se ajustará el flujo de aire de modo gradual por encima y por debajo de las especificaciones del fabricante, repitiendo lo indicado en 8.1 para cada flujo.

.9 Si la interferencia de oxígeno es superior a ± 3,0 %, después de ajustar el flujo de aire deberá variarse el flujo de combustible, y a continuación el flujo de muestreo, repitiendo lo indicado en 8.1 para cada nuevo reglaje.

.10 Si la interferencia de oxígeno sigue siendo superior a ± 3,0 %, se reparará o reemplazará el analizador, el combustible HFID o el aire del quemador antes de realizar el ensayo. Después se repetirá esta operación tras reparar o sustituir el equipo o los gases.

9 Interferencias en los analizadores de CO, CO_2, NO_x y O_2

Aparte del gas que se está analizando, hay otros gases que pueden incidir de distinta manera en los valores obtenidos. En los instrumentos NDIR y PMD, la interferencia es positiva si el gas interferente tiene el mismo efecto, aunque en menor grado, que el gas que se está midiendo. En los NDIR se experimenta una interferencia negativa si el gas interferente amplía la banda de absorción del gas medido, y en los CLD, si el gas interferente mitiga la radiación. Antes de utilizar el analizador por primera vez y tras prolongados intervalos de servicio, pero al menos una vez al año, se harán las comprobaciones de interferencia indicadas en 9.1 y 9.2.

9.1 *Comprobación de interferencias en el analizador de CO*

El agua y el CO_2 pueden incidir en la eficacia del analizador de CO. Por lo tanto, se hará burbujear en agua, a la temperatura ambiente, un gas de calibración de fondo de escala de CO_2 con una concentración del 80 % al 100 % de la escala completa de la gama máxima de funcionamiento utilizado durante la prueba, y se registrará la respuesta del analizador. La respuesta del analizador no será superior al 1 % de la escala completa para gamas iguales o superiores a 300 ppm, o de más de 3 ppm para gamas inferiores a 300 ppm.

9.2 *Comprobaciones del efecto de mitigación en el analizador de NO_x*

Los dos gases que interfieren en los analizadores CLD (y HCLD) son el CO_2 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 mayores concentraciones previstas que puedan producirse durante la prueba.

9.2.1 Comprobación del efecto de mitigación del CO_2

9.2.1.1 Se hace pasar por el analizador NDIR un gas de calibración de fondo de escala de CO_2 con una concentración del 80 % al 100 % de la escala completa de la gama máxima de funcionamiento y se registra el valor del CO_2 (A). Acto seguido, se diluye aproximadamente un 50 % con un gas de calibración de fondo de escala de NO, se hace pasar el gas diluido por el NDIR y por el (H)CLD, y se registran los valores de CO_2 y de NO (respectivamente *B* y *C*). Por último, se cierra el paso de CO_2, se deja pasar únicamente el gas de calibración de fondo de escala de NO por el (H)CLD y se registra el valor de NO (*D*).

9.2.1.2 El efecto de mitigación se calcula como sigue:

$$E_{CO2} = \left[1 - \left(\frac{(C \times A)}{(D \times A) - (D \times B)}\right)\right] \times 100 \qquad (4)$$

donde:

A = concentración de CO_2 no diluido medida con un NDIR, en porcentaje de volumen;
B = concentración de CO_2 diluido medida con un NDIR, en porcentaje de volumen;
C = concentración de NO diluido medida con un (H)CLD, en ppm; y
D = concentración de NO no diluido medida con un (H)CLD, en ppm.

9.2.1.3 Podrán utilizarse otros métodos de dilución y cuantificación de los valores de los gases de calibración de fondo de escala de CO_2 y de NO, tales como el de mezcla dinámica.

9.2.2 Comprobación del efecto de mitigación del agua

9.2.2.1 Esta comprobación es únicamente aplicable a la medición de las concentraciones de gases en húmedo. Para el cálculo del efecto de mitigación del agua, debe tenerse en cuenta la dilución del gas de calibración de fondo de escala de 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.

9.2.2.2 Se hace pasar por el analizador HCLD un gas de calibración de fondo de escala de NO con una concentración del 80 % al 100 % de la escala completa de la gama normal de funcionamiento y se registra el valor de NO (D). A continuación, se hace burbujear en agua a una temperatura de 25 °C ± 5 °C el gas de calibración de fondo de escala, haciéndolo pasar luego por el (H)CLD y se registra el valor de NO (C). Se mide y anota la temperatura del agua (F). Se mide y anota también la presión de saturación de vapor de la mezcla (G) que corresponde a la temperatura del agua en la que se ha hecho burbujear el gas (F). La concentración de vapor de agua de la mezcla (H en porcentaje) se calcula de la manera siguiente:

$$H = 100 \times \left(\frac{G}{p_b} \right) \tag{5}$$

La concentración prevista (D_e) del gas de calibración de fondo de escala de NO diluido (en vapor de agua) se calcula de la manera siguiente:

$$D_e = D \times \left(1 - \frac{H}{100} \right) \tag{6}$$

Para los sistemas de escape de los motores diésel, la concentración máxima prevista de agua en los gases de escape (en porcentaje) que pueda producirse durante el ensayo, suponiendo que la relación atómica hidrógeno/carbono (H/C) del combustible es de 1,8/1, se calcula sobre la base de la concentración máxima de CO_2 en los gases de escape (A) de la manera siguiente:

$$H_m = 0{,}9 \times A \tag{7}$$

y se anota H_m.

9.2.2.3 El efecto de mitigación del agua se calcula como sigue:

$$E_{H2O} = 100 \times \left(\frac{D_e - C}{D_e} \right) \times \left(\frac{H_m}{H} \right) \tag{8}$$

donde:

D_e = concentración de NO diluido prevista, en ppm;
C = concentración de NO diluido, en ppm;
H_m = concentración máxima del vapor de agua, en porcentaje; y
H = concentración real del vapor de agua, en porcentaje.

Nota: Es importante que el gas de calibración de fondo de escala de NO tenga una concentración mínima de NO_2 para esta comprobación, dado que la absorción de NO_2 en el agua no se ha tenido en cuenta en los cálculos de mitigación.

9.2.3 Efecto de mitigación máximo admisible

El efecto de mitigación máximo admisible será:

.1 el efecto de mitigación del CO_2, con arreglo a 9.2.1: 2 % de la escala completa
.2 el efecto de mitigación del agua con arreglo a 9.2.2: 3 % de la escala completa

9.3 *Interferencia en el analizador de O_2*

9.3.1 La respuesta de un analizador PMD causada por gases que no sean oxígeno es relativamente débil. En la tabla 6 se indican los equivalentes en oxígeno de los elementos constitutivos comunes de los gases de escape.

Tabla 6
Equivalentes en oxígeno

Gas	Equivalente en 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_2O)	– 0,381

9.3.2 La concentración de oxígeno observada se corregirá aplicando la siguiente fórmula:

$$E_{O2} = \frac{(Equivalente\ \ O_2 \times c_{observado})}{100} \qquad (9)$$

9.3.3 Para los analizadores ZRDO y ECS, la interferencia causada por los gases que no sean oxígeno se compensará siguiendo las instrucciones del fabricante y las buenas prácticas de ingeniería. Se deberán compensar los sensores electroquímicos por la interferencia del CO_2 y los NO_x.

Apéndice V

Informe relativo al ensayo del motor de referencia y datos del ensayo
(Véanse los párrafos 2.4.1.5 y 5.10 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

Sección 1 – Informe relativo al ensayo del motor de referencia (véase la sección 5.10 del Código)

Informe relativo al ensayo de emisiones N° ... **Hoja 1/5**

Motor:		
Fabricante		
Tipo de motor		
Identificación de la familia o el grupo de motores		
Número de serie		
Régimen nominal		rpm
Potencia nominal		kW
Régimen intermedio		rpm
Par máximo al régimen intermedio		Nm
Reglaje de inyección estática		grados del ángulo de calado antes del PMS
Control electrónico de inyección	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 nominal		kPa
Presión máxima del cilindro a la potencia nominal		kPa
Número y configuración de los cilindros	Número: En V: En línea:	
Máquinas auxiliares		
Condiciones ambientales especificadas:		
Temperatura máxima del agua de 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: temperatura baja/alta	/	°C
Depresión máxima de admisión		kPa
Contrapresión de escape máxima		kPa
Especificación del fueloil		
Temperatura del fueloil		°C

Resultados del ensayo de emisiones				
Ciclo				
NO_x				g/kWh
Identificación del ensayo				
Fecha/hora				
Lugar/banco de pruebas				
Número del ensayo				
Inspector				
Fecha y lugar del informe				
Firma				

Informe relativo al ensayo de emisiones N° ... **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	Debe figurar por escrito únicamente cuando se utilicen dispositivos de limpieza de los gases de escape
Método de aspiración	Aspiración natural/sobrealimentación
Tipo de combustible que se utilizará a bordo	Destilado/destilado o pesado/mixto
Cámara de combustión	Cámara abierta/cámara dividida
Configuración de las lumbreras	Culata /pared del cilindro
Tamaño y número de las lumbreras	
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 del aire de carga	no/sí
Postratamiento de los gases de escape	no/sí
Tipo de postratamiento de los gases de escape	
Sistema de combustible mixto	no/sí

Datos de la familia o grupo del motor (selección del motor de referencia para ensayos en el banco de pruebas)					
Identificación de la familia o grupo					
Método de sobrealimentación					
Sistema de refrigeración del aire de carga					
Criterios de la selección del motor de referencia	Valor máximo de emisiones de NO_x				
Número de cilindros					
Potencia máxima nominal por cilindro					
Régimen nominal					
Reglaje de inyección (escala)					
Motor de referencia seleccionado					Referencia
Ciclo(s) de ensayo					

Informe relativo al ensayo de emisiones N° ... Datos de la celda de ensayo Hoja 3/5

Tubo de escape	
Diámetro	mm
Longitud	m
Aislamiento	no: sí:
Emplazamiento de la sonda	

Equipo de medición					
	Fabricante	Modelo	Intervalos de medida	Calibración	
				Concentración del gas de calibración de fondo de escala	Desviación
Analizador					
Analizador de NO_x			ppm		%
Analizador de CO			ppm		%
Analizador de CO_2			%		%
Analizador de O_2			%		%
Analizador de HC			ppm de C		%
Régimen			rpm		%
Par			Nm		%
Potencia, si corresponde			kW		%
Flujo de combustible					%
Flujo de aire					%
Flujo de gases de escape					%
Temperaturas					
Admisión de refrigerante en el aire de carga			°C		°C
Gases de escape			°C		°C
Aire de admisión			°C		°C
Aire de carga			°C		°C
Combustible			°C		°C
Presiones					
Gases de escape			kPa		kPa
Aire de carga			kPa		kPa
Atmosférica			kPa		kPa
Presión de vapor					
Aire de admisión			kPa		%
Humedad					
Aire de admisión			%		%

Características del combustible

Tipo de combustible				
Propiedades del combustible			**Análisis de los elementos del combustible**	
Densidad	ISO 3675	kg/ m^3	Carbono	% masa/masa
Viscosidad	ISO 3104	mm^2/s	Hidrógeno	% masa/masa
Agua	ISO 3733	% V/V	Nitrógeno	% masa/masa
			Oxígeno	% masa/masa
			Azufre	% masa/masa
			LHV/Hu	MJ/kg

Informe relativo al ensayo de emisiones Nº ... **Datos relativos al aire ambiente y a las emisiones gaseosas** **Hoja 4/5**

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

Datos relativos al aire ambiente										
Presión atmosférica kPa										
Temperatura del aire de admisión °C										
Humedad del aire de admisión g/kg										
Humedad relativa del aire de admisión %										
Temperatura del aire en el sensor de humedad relativa °C										
Temperatura del aire de admisión (termómetro seco) °C										
Temperatura del aire de admisión (termómetro húmedo) °C										
Parámetro de las condiciones del ensayo (*fa*)										

Datos relativos a las emisiones gaseosas											
Concentración en seco/húmedo de NO_x	ppm										
Concentración de CO	ppm										
Concentración de CO_2	%										
Concentración en seco/húmedo de O_2	%										
Concentración de HC	ppm de C										
Factor de corrección de la humedad de los NO_x (k_{hd})											
Factor de corrección en seco/húmedo (k_{hd})											
Caudal másico de NO_x	kg/h										
Caudal másico de CO	kg/h										
Caudal másico de CO_2	kg/h										
Caudal másico de O_2	kg/h										
Caudal másico de HC	kg/h										
Específico NO_x	g/kWh										

* Según sea aplicable.

Informe relativo al ensayo de emisiones Nº ... **Datos de ensayo del motor** **Hoja 5/5**

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

Datos del motor										
Régimen rpm										
Potencia auxiliar kW										
Reglaje del dinamómetro kW										
Potencia kW										
Presión eficaz media kPa										
Bastidor de combustible mm										
Consumo de combustible específico sin corregir g/kWh										
Flujo de combustible kg/h o m^3/h										
Flujo de aire kg/h										
Flujo de gases de escape (q_{mew}) kg/h										
Temperatura de escape °C										
Contrapresión de escape kPa										
Temperatura de entrada del refrigerante del aire de carga °C										
Temperatura de salida del refrigerante del aire de carga °C										
Temperatura del aire de carga °C										
Temperatura de referencia del aire de carga °C										
Presión del aire de carga kPa										
Temperatura del fueloil °C										

* Según sea aplicable.

Sección 2 – Datos relativos al ensayo del motor de referencia que han de incluirse en el expediente técnico (véase el párrafo 2.4.1.5 del Código)

Familia o grupo del motor de referencia		
Motor de referencia		
Modelo/tipo		
Potencia nominal	kW	
Régimen nominal	rpm	

Fueloil de ensayo de motor de referencia		
Designación del combustible de referencia		
ISO 8217: 2005 (tipo DM o RM)		
Carbono	% masa/masa	
Hidrógeno	% masa/masa	
Azufre	% masa/masa	
Nitrógeno	% masa/masa	
Oxígeno	% masa/masa	
Agua	% V/V	

Datos medidos (motor de referencia)									
Potencia/par	%								
Régimen	%								
Punto de modalidad		1	2	3	4	5	6	7	8
Rendimiento del motor									
Potencia	kW								
Régimen	rpm								
Flujo de combustible	kg/h								
Flujo de aire de admisión (húmedo/seco)	kg/h								
Flujo de gases de escape	kg/h								
Temperatura del aire de admisión	°C								
Temperatura del aire de carga	°C								
Temperatura de referencia del aire de carga	°C								
Presión del aire de carga	kPa								
Parámetro(s) adicional(es) utilizado(s) para la corrección de las emisiones (especificar)									
Condiciones ambiente									
Presión atmosférica	kPa								
Humedad relativa del aire de admisión	%								
Temperatura del aire en el sensor de humedad relativa	°C								
Temperatura del aire de admisión (termómetro seco)*	°C								
Temperatura del aire de admisión (termómetro húmedo)*	°C								
Humedad absoluta del aire de admisión	g/kg								

Concentraciones de las emisiones									
NO_x húmedo/seco	ppm								
CO_2	%								
O_2 húmedo/seco	%								
CO	ppm								
HC	ppm de C								
Datos calculados (motor de referencia)									
Humedad del aire de admisión	g/kg								
Humedad del aire de carga	g/kg								
Parámetro de condición de ensayo, f_a									
Factor de corrección seco/húmedo, k_{wr}									
Factor de corrección de humedad de NO_x, k_{hd}									
Régimen de flujo de los gases de escape	kg/h								
Régimen de flujo de las emisiones de NO_x.	kg/h								
Factor(es) adicional(es) de corrección de las emisiones (especificar)	g/kWh								
	g/kWh								
Emisiones de NO_x	g/kWh								

Ciclo de ensayos					
Valor de las emisiones	g/kWh				

* Según sea aplicable.

Apéndice VI

Cálculo del flujo másico de los gases de escape (método de equilibrado del carbono)
(Véase el capítulo 5 del Código Técnico sobre los NOx 2008)

1 Introducción

1.1 En este apéndice se trata el cálculo del flujo másico de los gases de escape, basado 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 los términos y las variables utilizadas en las fórmulas para el método de medición por equilibrado del carbono se resumen en la Introducción del presente Código.

1.2 Salvo que se especifique lo contrario, todos los resultados de los cálculos prescritos en el presente apéndice se consignarán en el informe relativo al ensayo del motor, de conformidad con lo dispuesto en la sección 5.10 del presente Código.

2 Método de equilibrado del carbono: procedimiento de cálculo en una sola etapa

2.1 Este método consiste en calcular el flujo másico de los gases de escape a partir del consumo de combustible, de la composición del combustible y de las concentraciones de gases de escape.

2.2 Caudal másico de los gases de escape en húmedo:

$$q_{mew} = q_{mf} \times \left(\left(\frac{14 \times \left(w_{BET} \times w_{BET} \right)}{\left(\frac{\left(14 \times w_{BET} \right)}{f_c} + \left(w_{ALF} \times 0{,}08936 \right) - 1 \right) \times \frac{1}{1{,}293} + f_{fd}} + \left(w_{ALF} \times 0{,}08936 \right) - 1 \right) \times \left(1 + \frac{H_a}{1000} \right) + 1 \right) \quad (1)$$

donde

f_{fd} de acuerdo con la ecuación (2), f_c de acuerdo con la ecuación (3).

H_a es la humedad absoluta del aire de admisión, en gramos de agua por kg de aire seco. No obstante si $H_a \geq H_{SC}$, se utilizará H_{SC} en lugar de H_a en la fórmula (1)

Nota: H_a podrá obtenerse a partir de la medición de la humedad relativa, la del punto de rocío, la de la presión de vapor o la realizada con el termómetro seco/húmedo, utilizando las fórmulas habituales.

2.3 La constante específica del combustible f_{fd} para los gases de escape en seco se calculará añadiendo los volúmenes adicionales de la combustión de los componentes del combustible:

$$f_{fd} = -0{,}055593 \times w_{ALF} + 0{,}008002 \times w_{DEI} + 0{,}0070046 \times w_{EPS} \qquad (2)$$

2.4 El factor de carbono (f_c) de acuerdo con la ecuación (3):

$$f_c = (c_{CO2d} - c_{CO2ad}) \times 0{,}5441 + \frac{c_{COd}}{18522} + \frac{c_{HCw}}{17355} \qquad (3)$$

donde

c_{CO2d} = concentración en seco de CO_2 en los gases de escape brutos, en porcentaje
c_{CO2ad} = concentración en seco de CO_2 en el aire ambiente, en porcentaje = 0,03 %
c_{COd} = concentración en seco de CO en los gases de escape brutos, en ppm
c_{HCw} = concentración en húmedo de HC en los gases de escape brutos, en ppm

Apéndice VII

Lista de comprobación para un método de verificación de los parámetros del motor
(Véase el párrafo 6.2.2.5 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

1 Para algunos de los parámetros que figuran a continuación, existe más de una posibilidad de reconocimiento posible. En estos casos, a modo de orientación, bastará con aplicar uno cualquiera de los métodos que figuran a continuación, o una combinación de ellos, para demostrar que el motor cumple lo prescrito. Con la aprobación de la Administración, y la ayuda del solicitante de la certificación del motor, el propietario del buque podrá escoger el método que vaya a aplicar.

.1 parámetro "regulación del avance de la inyección"

.1 posición de la leva de combustible (de una leva o del árbol de levas si las levas no son ajustables):

- opcional (según el proyecto): posición de una conexión entre la leva y la transmisión de la bomba,
- opcional para las bombas con manguito dosificador: índice del reglaje de inyección fijo y posición de la leva o del tambor, o
- otros dispositivos dosificadores de manguito;

.2 comienzo de la distribución para algunas posiciones del 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 un detector 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 de émbolo y 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 la 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 "punto de las válvulas" (sólo en motores de cuatro tiempos con cierre de válvula de admisión antes del punto muerto inferior (PMI))

.1 posición de la leva

.2 comprobación del punto

.11 parámetro "inyección de agua" (para evaluación: gráfico de la influencia en los NO_x)

.1 consumo de agua en función de la carga (vigilancia)

.12 parámetro "combustible emulsionado" (para evaluación: gráfico de la influencia en 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 en los NO_x)

.1 flujo másico de los gases de escape recirculados en función de la carga (vigilancia)

.2 concentración de CO_2 en la mezcla de aire fresco y en los gases de escape recirculados, es decir, el aire de barrido (vigilancia)

.3 concentración de O_2 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 la RCS (para evaluación: gráfico de la influencia en los NO_x)

2 Por lo que respecta a los motores con reducción catalítica selectiva (RCS) sin control de retroalimentación, la medición con carácter opcional de la emisión de NO_x (comprobaciones aleatorias periódicas o vigilancia) es útil para verificar si la eficacia de la reducción catalítica selectiva aún corresponde a la eficacia en el momento de la certificación, independientemente de que las condiciones ambientales o la calidad del combustible produzcan emisiones brutas diferentes.

Apéndice VIII

Implantación del método directo de medición y vigilancia
(Véase el párrafo 6.4 del Código Técnico sobre los NO_x 2008)

1 Equipo eléctrico: materiales y proyecto

1.1 El equipo eléctrico estará construido con materiales duraderos, pirorretardantes y resistentes a la humedad que no sean propensos al deterioro en el entorno donde el equipo esté instalado y a las temperaturas a las que se prevea que va a estar expuesto.

1.2 El equipo eléctrico estará proyectado de modo que las partes conductoras de corriente descargables a tierra estén protegidas contra cualquier contacto accidental.

2 Equipo de análisis

2.1 *Analizadores*

2.1.1 Los gases de escape se analizarán con los siguientes instrumentos. En el caso de analizadores no lineales, se permite el uso de circuitos de linealización. Pueden aceptarse otros sistemas o analizadores, a condición de que los aprueben las Administraciones y se obtengan con ellos resultados equivalentes a los del equipo mencionado a continuación:

.1 Análisis de los óxidos de nitrógeno (NO_x)

El analizador de los óxidos de nitrógeno será del tipo detector quimioluminiscente (CLD) o detector quimioluminiscente calentado (HCLD). La muestra del gas de escape tomada para la medición de las emisiones de NO_x se mantendrá por encima de su temperatura de punto de rocío hasta que haya pasado por el convertidor de NO_2 a NO.

Nota: En el caso de los gases de escape brutos, esta temperatura deberá ser superior a 60 °C si el motor funciona con combustible de tipo DM de la norma ISO 8217:2005, y superior a 140 °C si el motor funciona con combustible de tipo RM de la norma ISO 8217:2005.

.2 Análisis del dióxido de carbono (CO_2)

Cuando sea necesario, el analizador del dióxido de carbono será del tipo de absorción de infrarrojos no dispersivos (NDIR).

.3 Análisis del monóxido de carbono (CO)

Cuando sea necesario, el analizador del monóxido de carbono será del tipo de absorción de infrarrojos no dispersivos (NDIR).

.4 Análisis de los hidrocarburos (HC)

Cuando sea necesario, el analizador de hidrocarburos será un detector de ionización de llama calentado (HFID). La muestra de gases de escape tomada para la medición de los hidrocarburos deberá mantenerse a 190 °C $\pm$ 10 °C desde el punto donde se haya obtenido hasta el detector.

.5 Análisis del oxígeno (O_2)

Cuando sea necesario, el analizador del oxígeno será del tipo detector paramagnético (PMD), de dióxido de circonio (ZRDO) o sensor electroquímico (ECS).

2.2 *Especificaciones del analizador*

2.2.1 Las especificaciones del analizador deberán cumplir lo dispuesto en 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10 del apéndice III del presente Código.

2.2.2 La gama de medición del analizador será tal que el valor medido de la emisión se sitúe entre el 15 % y el 100 % de la gama empleada.

2.2.3 El equipo de análisis se instalará y mantendrá de conformidad a las recomendaciones del fabricante, de forma que se cumplan las prescripciones de 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10 del apéndice III y las secciones 7 y 9 del apéndice IV del presente Código.

3 Gases de calibración y gases puros

3.1 Los gases de calibración y los gases puros, según proceda, se ajustarán a lo dispuesto en 2.1 y 2.2 del apéndice IV del presente Código. Las concentraciones que se declaren corresponderán a normas nacionales y/o internacionales. Los gases de calibración se ajustarán a las recomendaciones del fabricante del equipo de análisis.

3.2 Los gases de calibración de fondo de escala del analizador corresponderán al 80-100 % de la escala del analizador que se esté calibrando.

4 Sistema de muestreo y transferencia de las emisiones gaseosas

4.1 La muestra de los gases de escape será representativa del promedio de las emisiones de gases de escape de todos los cilindros del motor. El sistema de muestreo de las emisiones gaseosas cumplirá lo dispuesto en 5.9.3 del presente Código.

4.2 La muestra de los gases de escape se tomará de una zona cualquiera entre el 10 % y el 90 % del diámetro del tubo de escape.

4.3 A fin de facilitar la instalación de la sonda de muestreo, en la sección 5 se recoge un ejemplo de la brida de conexión de un punto de muestreo.

4.4 La muestra de gases de escape para la medición de las emisiones de NO_x se mantendrá de modo que se impida la pérdida de NO_2 a través de la condensación de agua o de ácido con arreglo a las recomendaciones del fabricante del equipo de análisis.

4.5 La muestra de gas no se secará utilizando secadores químicos.

4.6 Se deberá poder verificar que el sistema de muestreo de las emisiones gaseosas carece de fugas de admisión con arreglo a las recomendaciones del fabricante del equipo de análisis.

4.7 Se proporcionará un punto de muestreo adicional adyacente para facilitar los controles de calidad del sistema.

5 Brida de conexión del punto de muestreo

5.1 A continuación se presenta un ejemplo de brida general de conexión del punto de muestreo, que estará situada, según convenga, en el conducto de salida de cada motor para el que sea obligatorio demostrar cumplimiento por medio del método directo de medición y vigilancia.

Descripción	Dimensión
Diámetro exterior	160 mm
Diámetro interior	35 mm
Espesor de la brida	9 mm
Diámetro 1 del círculo de pernos	130 mm
Diámetro 2 del círculo de pernos	65 mm
Ranuras de la brida	Cuatro orificios de 12 mm de diámetro situados equidistantes en cada uno de los diámetros del círculo de pernos indicados. Los orificios de los dos diámetros de los círculos de pernos estarán alineados en los mismos radios. La brida tendrá ranuras de 12 mm de anchura entre los orificios de los diámetros exterior e interior del círculo de pernos.
Pernos y tuercas	Cuatro juegos, del diámetro y la longitud prescritos
La brida será de acero y estará mecanizada con una cara plana.	

5.2 La brida irá unida a una tubería saliente de dimensiones adecuadas que esté alineada con el diámetro del conducto de salida. La tubería saliente no será más larga de lo necesario para proyectarse más allá del revestimiento del conducto de salida a fin de permitir el acceso al extremo de la brida. La tubería saliente estará aislada y terminará en un punto accesible, sin obstrucciones que pudieran entorpecer el emplazamiento o montaje de la sonda de muestreo y los correspondientes accesorios.

5.3 Cuando no se esté utilizando, la tubería saliente se cerrará con una brida ciega de acero y una junta de un material adecuado resistente al calor. La brida de muestreo y la brida ciega de cierre se cubrirán cuando no se estén utilizando con un material adecuado resistente al calor que pueda quitarse fácilmente y que la proteja de contactos accidentales.

6 Selección de puntos de carga y factores de ponderación revisados

6.1 Según lo dispuesto en 6.4.6.4 del presente Código, en los ciclos de ensayo E2, E3 o D2, el número mínimo de puntos de carga debería ser tal que los factores de ponderación nominales combinados que figuran en 3.2 del presente Código sean superiores a 0,50.

6.2 De conformidad con 6.1, en los ciclos de ensayo E2 y E3 sería necesario utilizar el punto de carga del 75 % más uno o más puntos de carga. En el caso del ciclo de ensayo D2 debería utilizarse bien el punto de carga del 25 %, bien el del 50 %, más uno o más puntos de carga de manera tal que el factor de ponderación nominal combinado sea superior a 0,5.

6.3 Los ejemplos que figuran a continuación muestran algunas de las posibles combinaciones de puntos de carga que pueden utilizarse junto con los respectivos factores de ponderación revisados:

.1 Ciclos de ensayo E2 y E3

Potencia	100 %	75 %	50 %	25 %
Factor de ponderación nominal	0,2	0,5	0,15	0,15
Opción A	0,29	0,71		
Opción B		0,77	0,23	
Opción C	0,24	0,59		0,18
Más otras combinaciones que tendrán por resultado un factor de ponderación nominal combinado superior a 0,5. Por lo tanto, sería insuficiente utilizar los puntos de carga del 100 %, + 50 % y + 25 %.				

.2 Ciclo de ensayo D2

Potencia	100 %	75 %	50 %	25 %	10 %
Factor de ponderación nominal	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1
Opción D			0,5	0,5	
Opción E		0,45		0,55	
Opción F		0,38	0,46		0,15
Opción G	0,06	0,28	0,33	0,33	
Más otras combinaciones que tendrán por resultado un factor de ponderación nominal combinado superior a 0,5. Por lo tanto, sería insuficiente utilizar los puntos de carga del 100 %, + 50 % y + 10 %.					

6.4 En el caso del ciclo de ensayo C1 debería utilizarse como mínimo un punto de carga con cada una de las secciones de régimen: nominal, intermedio y en vacío. Los ejemplos que figuran a continuación muestran algunas de las posibles combinaciones de puntos de carga que pueden utilizarse junto con los respectivos factores de ponderación revisados:

.1 Ciclo de ensayo C1

Régimen	Nominal				Intermedio			En vacío
Par	100 %	75 %	50 %	10 %	100 %	75 %	50 %	0 %
Factor de ponderación nominal	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15
Opción H		0,38			0,25			0,38
Opción I				0,29		0,29		0,43
Opción J	0,27	0,27					0,18	0,27
Opción K	0,19	0,19	0,19	0,13		0,13		0,19
Más otras combinaciones que incorporen como mínimo un punto de carga en cada régimen: nominal, intermedio y en vacío								

6.5 Ejemplos de cálculo de los factores de ponderación revisados:

.1 Para un punto de carga dado, los factores de ponderación revisados se calcularán del modo siguiente:

y % de carga = factor de ponderación nominal para la carga y· (1/(suma de los factores de carga para los puntos de carga en los cuales se obtuvieron los datos))

.2 Para la opción A:

75 % de carga: el valor revisado se calcula del modo siguiente:
0,5 x (1/(0,5 + 0,2)) = 0,71

100 % de carga: el valor revisado se calcula del modo siguiente:
0,2 x (1/(0,5 + 0,2)) = 0,29

.3 Para la opción F:

75 % de carga: el valor revisado se calcula del modo siguiente:
0,25 x (1/(0,25 +0,3 + 0,1)) = 0,38

.4 Los factores de ponderación revisados se anotan con dos lugares decimales. No obstante, los valores que se aplicarán a la ecuación 19 del presente Código deberán ser precisos hasta el último lugar decimal. De ahí que en el caso de la opción F que figura *supra*, el factor de ponderación revisado figure como 0,38, aunque el valor real calculado sea 0,384615... Por consiguiente, en estos ejemplos de factores de ponderación revisados, es posible que la suma de los valores mostrada (con dos lugares decimales) no de 1,00 como resultado debido a que la cifra se ha redondeado.

7 Determinación de la estabilidad del punto de referencia de la potencia

7.1 Para determinar la estabilidad del punto de referencia, deberá calcularse el coeficiente de varianza de la potencia durante un intervalo de 10 minutos y la frecuencia de muestreo deberá ser de 1 Hz como mínimo. El resultado deberá ser igual o inferior al cinco por ciento (5 %).

7.2 Las fórmulas para calcular el coeficiente de varianza son las siguientes:

$$Ave = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} x_j \qquad (1)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - Ave)^2} \qquad (2)$$

$$\%C.O.V. = \frac{S.D.}{Ave} \cdot 100 \leq 5\% \qquad (3)$$

donde:

%C.O.V.	el coeficiente de varianza de la potencia, en %
S.D.	la desviación normal
Ave	el valor promedio
N	el número total de puntos muestreados
x_i, x_j	los valores i-ésimo y j-ésimo en los puntos de potencia, en kW
i	la variable del índice de la fórmula de desviación normal
j	la variable del índice de la fórmula promedio

COPIA AUTÉNTICA CERTIFICADA de las enmiendas al Código técnico relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos (Código Técnico sobre los NO_x 2008) adoptadas el 10 de octubre de 2008 por el Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional en su 58° periodo de sesiones, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 16 2) d) del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, y que figuran en el anexo de la resolución MEPC.177(58) del Comité, cuyo texto original se ha depositado ante el Secretario General de la Organización Marítima Internacional.

Por el Secretario General de la Organización Marítima Internacional: K. P. Beat...

Londres, 12 March 2010

J/9885 (S)