

ANEXO 12

**RESOLUCIÓN MEPC.130 (53)
adoptada el 22 de julio de 2005**

**DIRECTRICES RELATIVAS A LOS SISTEMAS DE A BORDO
PARA LA LIMPIEZA DE LOS GASES DE ESCAPE-SO_x**

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,

RECORDANDO ASIMISMO que la Conferencia de las Partes en el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 relativo a dicho Convenio (MARPOL 73/78), que se celebró en septiembre de 1997, adoptó el Protocolo de 1997 para enmendar el MARPOL 73/78 con un nuevo Anexo VI sobre la prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques,

OBSERVANDO que la Conferencia de 1997, mediante la regla 14 4) b) del Anexo VI, acordó que los buques en una zona de control de las emisiones de SO_x están autorizados a operar con un sistema para la limpieza de los gases de escape aprobado por la Administración y teniendo en cuenta las directrices que habrá de elaborar la Organización,

CONSCIENTE de que el Protocolo de 1997 entró en vigor el 19 de mayo de 2005 y de que el 18 de mayo de 2006 cesarán las exenciones de las prescripciones para las zonas de control de las emisiones de SO_x,

HABIENDO EXAMINADO la recomendación del Subcomité de Proyecto y Equipo del Buque en su 48º periodo de sesiones,

1. ADOPTA las Directrices relativas a los sistemas para la limpieza de los gases de escape-SO_x, que figuran en el anexo de la presente resolución;
2. INVITA a los Gobiernos a que apliquen las Directrices a partir de la fecha de su adopción.

ANEXO

**DIRECTRICES RELATIVAS A LOS SISTEMAS DE A BORDO PARA LA
LIMPIEZA DE LOS GASES DE ESCAPE-SO_x - REGLA 14 4) b)
DEL ANEXO VI DEL CONVENIO MARPOL**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

NOTA SOBRE LA SEGURIDAD

**PLAN A - HOMOLOGACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PARA LA
LIMPIEZA DE LOS GASES DE ESCAPE-SO_x (SLGE-SO_x)**

1 GENERALIDADES

- 1 Objetivo
- 2 Aplicación
- 3 Definiciones

2 RECONOCIMIENTO Y CERTIFICACIÓN

- 1 Generalidades
- 2 Procedimientos para la certificación de una unidad SLGE-SO_x
- 3 Manual técnico relativo a la unidad SLGE-SO_x

3 LÍMITES DE LAS EMISIONES

4 APROBACIÓN DE LA UNIDAD SLGE-SO_x

- 1 Aprobación de la unidad
- 2 Unidades fabricadas en serie
- 3 Aprobación de la gama de productos

5 ENSAYOS RELATIVOS A LAS EMISIONES

**6 PROCEDIMIENTOS PARA DEMOSTRAR EL CUMPLIMIENTO DEL LÍMITE DE
EMISIONES DE SO₂ A BORDO**

7 VIGILANCIA DEL AGUA DE LAVADO

PLAN B - SISTEMA DE VIGILANCIA CONTINUA DE LAS EMISIONES DE SO_x

- 8 GENERALIDADES
- 9 MEDICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE
- 10 CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE EMISIONES DE SO₂
- 11 VIGILANCIA DEL AGUA DE LAVADO
- 12 DISPOSITIVO DE REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS
- 13 MANUAL DE VIGILANCIA DE A BORDO

PLAN DE CUMPLIMIENTO PARA LAS ZONAS DE CONTROL DE LAS EMISIONES DE SO_x

- 14 PLAN DE CUMPLIMIENTO PARA LAS ZONAS DE CONTROL DE LAS EMISIONES DE SO_x
- 15 CUMPLIMIENTO POR EL BUQUE
 - 1 Plan A
 - 2 Plan B
- 16 DEMOSTRACIÓN DEL CUMPLIMIENTO
- 17 AGUA DE LAVADO
- 18 RESIDUOS DEL AGUA DE LAVADO

APÉNDICE - MÉTODO DE VIGILANCIA DE LA RELACIÓN ENTRE EL DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) Y EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

**DIRECTRICES RELATIVAS A LOS SISTEMAS DE A BORDO
PARA LA LIMPIEZA DE LOS GASES DE ESCAPE-SO_x
REGLA 14 4) b) DEL ANEXO VI DEL CONVENIO MARPOL**

INTRODUCCIÓN

En la regla 14 4) del Anexo VI del MARPOL se prescribe que los buques que se encuentren en zonas de control de las emisiones de SO_x utilicen bien fueloil con una concentración de azufre que no exceda de 1,5% o apliquen un sistema para la limpieza de los gases de escape (SO_x) (SLGE-SO_x) para reducir el total de las emisiones de SO_x a 6,0g/kWh. La unidad SLGE-SO_x será aprobada por la Administración, teniendo en cuenta las directrices elaboradas por la Organización.

De modo análogo a los sistemas de reducción de las emisiones de NO_x, la unidad SLGE-SO_x podría homologarse, o bien durante el servicio podría verificarse que tales sistemas cumplen lo estipulado en las directrices mediante la medición y vigilancia directas de las emisiones de SO_x. Estas directrices se han elaborado con el propósito de contar con pautas objetivas y centradas en el rendimiento. El método basado en la relación SO₂(ppm)/CO₂(%) podría simplificar la vigilancia de las emisiones de SO_x y facilitar la homologación de la unidad SLGE-SO_x. Véase el Apéndice I para la explicación de la utilización de SO₂(ppm)/CO₂(%) como base para el sistema de vigilancia.

No obstante, estas directrices tienen carácter de recomendación, por lo que se invita a las Administraciones a que se basen en las mismas para implantar cualquier normativa al respecto.

NOTA SOBRE LA SEGURIDAD

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 en cilindros. Las posiciones para la toma de muestras y los andamios de acceso serán tales que la vigilancia pueda desarrollarse en condiciones de seguridad. A la hora de situar la boca de descarga de las aguas residuales utilizada en la unidad SLGE-SO_x se prestará la debida consideración a la ubicación de las tomas de agua de mar del buque y a las consecuencias de las características ácidas de este tipo de aguas.

PLAN A - APROBACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE LA UNIDAD SLGE-SO_x

Certificación de la unidad de los sistemas para la limpieza de los gases de escape-SO_x (SLGE-SO_x) por parte de la Administración con la verificación posterior durante el servicio en los intervalos de reconocimiento y por medios indirectos junto con la vigilancia del uso de la unidad.

1 GENERALIDADES

1.1 Objetivo

El objetivo de las presentes Directrices es especificar las prescripciones relativas al proyecto, los ensayos, el reconocimiento y la certificación de los sistemas para la limpieza de los gases de escape-SO_x (SLGE-SO_x) con objeto de garantizar su cumplimiento de lo prescrito en la regla 14 4) b) del Anexo VI del MARPOL.

1.2 Aplicación

1.2.1 Las presentes Directrices se aplican a todas las unidades SLGE-SO_x, según estén acopladas a las máquinas de combustión de fueloil, excluidos los incineradores de a bordo, instaladas a bordo de un buque que opere en una zona de control de las emisiones de SO_x (ZCES).

1.2.2 Las presentes Directrices abarcan únicamente la certificación y el reconocimiento de la unidad SLGE-SO_x para el cumplimiento de lo prescrito en la regla 14 4) b) del Anexo VI.

1.3 Definiciones

La expresión "ppm" significa "partes por millón". Se asume que las "ppm" se medirán con analizadores de gas y se basarán en los moles, determinándose una cantidad óptima de micromoles de la sustancia por mol de la cantidad total ($\mu\text{mol/mol}$), si bien "ppm" se usa para adecuarse a las unidades del Código Técnico sobre los NO_x.

"Unidad de combustión de fueloil" significa todo motor, caldera, turbina de gas u otro equipo alimentado con fueloil.

2 RECONOCIMIENTO Y CERTIFICACIÓN

2.1 Generalidades

2.1.1 Antes de su utilización en una zona de control de las emisiones de SO_x, la Administración debe expedir, en relación con cada unidad SLGE-SO_x un certificado de cumplimiento para las ZCES.

2.1.2 Las unidades SLGE-SO_x deben estar sujetas al reconocimiento en la instalación y a los reconocimientos iniciales, anuales/intermedios y de renovación por parte de la Administración, con independencia de que en el momento del reconocimiento el buque pueda o no encontrarse en una zona de control de las emisiones de SO_x.

2.1.3 Certificado de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x debe refrendarse debidamente según se prescribe en el párrafo 2.1.2.

2.1.4 De conformidad con la regla 10, las unidades SLGE-SO_x también pueden ser objeto de inspección en el marco de la supervisión por el Estado rector del puerto cuando el buque se encuentre en una ZCES.

2.2 Procedimientos para la certificación de una unidad SLGE-SO_x

2.2.1 A fin de cumplir lo prescrito en el párrafo 2.1.1, ya sea antes o después de la instalación a bordo, se debe certificar que cada unidad SLGE-SO_x se ajusta al límite de emisiones de 6,0g de SO₂/kWh en las condiciones de funcionamiento y con las restricciones que figuran en el Manual técnico de los SLGE-SO_x que haya aprobado la Administración.

2.2.2 La determinación del valor de las emisiones debe ajustarse a lo dispuesto en las presentes Directrices.

2.2.3 La Administración debe expedir un Certificado de cumplimiento para las ZCES a toda unidad SLGE-SO_x que se ajuste a lo prescrito en el párrafo 2.2.1.

2.2.4 El fabricante del SLGE-SO_x, el propietario del buque u otra parte deben solicitar el certificado de cumplimiento relativo a las zonas de control de las emisiones de SO_x.

2.2.5 A las unidades SLGE-SO_x posteriores que tengan un proyecto y un nivel análogos a lo que se certifica en el párrafo 2.2.1, la Administración les puede expedir un certificado de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x sin necesidad de someterlos a prueba de conformidad con el párrafo 2.2.1 y a reserva de lo indicado en la sección 4.2 de las presentes Directrices.

2.2.6 La Administración puede aceptar unidades SLGE-SO_x con niveles diferentes a lo certificado en el párrafo 2.2.1 y a reserva de lo indicado en la sección 4.3 de las presentes Directrices.

2.2.7 La Administración debe centrarse especialmente en el examen de las unidades SLGE-SO_x que únicamente tratan una parte de la corriente de gases de escape de la salida de gases en la que están instalados para garantizar que, en todas las condiciones de funcionamiento definidas, el valor global de las emisiones de los gases de escape a la salida del sistema "corriente abajo" es inferior a 6,0 g/kWh.

2.3 Manual técnico relativo a los sistemas para la limpieza de los gases de escape-SO_x

2.3.1 Cada unidad SLGE-SO_x debe disponer de un Manual técnico en el que, como mínimo, debe figurar la información siguiente:

- a) la identificación de la unidad (fabricante, modelo/tipo, número de serie y demás datos que se necesiten), incluida una descripción de dicha unidad y todos los sistemas auxiliares necesarios;
- b) los límites de funcionamiento, o la gama de valores de funcionamiento, para los que se haya certificado la unidad, y que, como mínimo, deben incluir:
 - i) los caudales máxicos máximo y, si procede, mínimo del gas de escape;
 - ii) la potencia, el tipo y demás parámetros pertinentes de la unidad de combustión de fueloil para la que se instalará la unidad SLGE-SO_x. En el caso de las calderas también se debe facilitar la relación máxima aire/combustible al 100% de carga. En el caso de los motores diesel, se indicará si se trata de un motor de dos o de cuatro tiempos;

- iii) los valores máximo y mínimo del caudal de agua de lavado, las presiones de entrada y la alcalinidad mínima del agua de entrada (pH);
 - iv) las gamas de la temperatura de entrada del gas de escape y temperatura máxima de salida del gas con la unidad SLGE-SO_x en funcionamiento;
 - v) las gamas de la presión de entrada y de salida del gas de escape y la presión máxima de salida del gas con la unidad de combustión del fueloil en funcionamiento a régimen continuo máximo o al 80% de la potencia, según proceda;
 - vi) niveles de salinidad o elementos de agua dulce necesarios para proporcionar agentes neutralizadores adecuados; y
 - vii) otros factores relativos al proyecto y al funcionamiento de la unidad SLGE-SO_x pertinente para alcanzar un valor máximo de emisiones inferior a 6,0 g SO_x/kWh;
- c) cualesquiera prescripciones o restricciones aplicables a la unidad SLGE-SO_x o equipo correspondiente que sean necesarias para que la unidad pueda alcanzar un valor máximo de emisiones inferior a 6,0 g SO_x/kWh;
 - d) las prescripciones relativas a mantenimiento, servicio o ajuste con objeto de que la unidad SLGE-SO_x pueda seguir alcanzado un valor máximo de emisiones inferior a 6,0 g SO₂/kWh;
 - e) los medios por los que se efectuará el reconocimiento de la unidad SLGE-SO_x con objeto de garantizar su funcionamiento y que el uso de la unidad se ajusta a lo requerido (sección 6);
 - f) variación, en toda la gama de rendimiento, de las características del agua de lavado;
 - g) las prescripciones relativas al proyecto del sistema de agua de lavado; y
 - h) el certificado de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x.

2.3.2 La Administración debe aprobar el Manual técnico relativo a los sistemas para la limpieza de los gases de escape.

2.3.3 El Manual técnico debe conservarse a bordo del buque en el que se ha instalado la unidad SLGE-SO_x, y debe estar disponible para los reconocimientos según se requiera.

2.3.4 Toda información incluida en el Manual técnico que sea añadida, suprimida o enmendada, debe ser aprobada por la Administración. Cuando no forme parte del Manual técnico aprobado inicialmente, dicha información debe guardarse con el Manual y ser considerada como parte de éste.

2.3.5 Como alternativa al régimen máximo de emisiones estipulado en el párrafo 2.3.1 b) vi) de 6,0 g de SO_x/kWh, se podrá aplicar la relación SO₂ (ppm)/CO₂ (%) de 65, o inferior, medido en el efluente de la unidad SLGE-SO_x.

3 LÍMITES DE LAS EMISIONES

3.1 Cada unidad SLGE-SO_x debe ser apta para reducir las emisiones y que éstas sean inferiores a 6,0 g SO_x/kWh en cualquier punto de carga cuando se esté funcionando de conformidad con los criterios que figuran en el párrafo 2.3.1 b), según se especifica en los párrafos 3.2 a 3.5 de las presentes Directrices, exceptuando lo establecido en los párrafos 3.7 y 3.8.

3.2 Las unidades SLGE-SO_x acopladas a los motores propulsores principales diesel deben satisfacer lo prescrito en el párrafo 3.1 en todas las cargas que se encuentren entre el 25% y el 100% de toda la gama de carga de dichos motores.

3.3 Las unidades SLGE-SO_x acopladas a motores auxiliares diesel deben satisfacer lo prescrito en el párrafo 3.1 en todas las cargas que se encuentren entre el 10% y el 100% de la gama de carga de dichos motores.

3.4 Las unidades SLGE-SO_x acopladas a motores diesel que suministren potencia con fines auxiliares y de propulsión principal deben satisfacer lo prescrito en el párrafo 3.3.

3.5 Las unidades SLGE-SO_x acopladas a las calderas deben satisfacer lo prescrito en el párrafo 3.1 en todas las cargas que se encuentren entre el 10% y el 100% de la gama de carga (régimen de vaporización) de dichas calderas.

3.6 A fin de demostrar el rendimiento, deben medirse las emisiones en cuatro puntos de carga como mínimo, contando con el consentimiento de la Administración. Un punto de carga se situará en el 95-100% del caudal másico máximo del gas de escape para el que se certificará la unidad. Un punto de carga se situará entre el $\pm 5\%$ del caudal másico mínimo del gas de escape para el que se certificará la unidad. Los dos puntos de carga restantes se espaciarán por igual entre los caudales másicos máximo y mínimo del gas de escape. Cuando existen discontinuidades en el funcionamiento del sistema, debe aumentarse el número de puntos de carga, con el consentimiento por parte de la Administración, de modo que se demuestre que se conserva el funcionamiento requerido en la gama establecida de caudal másico del gas de escape. Deben someterse a prueba más puntos de carga intermedios en caso de que se tengan indicios de que una cresta de emisiones se encuentra por debajo del caudal másico máximo y por encima, si procede, del caudal másico mínimo del gas de escape. Estos ensayos complementarios deben repetirse el número de veces suficiente para establecer el valor de cresta de las emisiones.

3.7 En el caso de cargas inferiores a lo especificado en los párrafos 3.2 a 3.5, la unidad SLGE-SO_x debe seguir funcionando. En los casos en los que pueda ser necesario que el equipo de combustión de fueloil funcione en condiciones de marcha en vacío, la concentración de las emisiones de SO₂ (ppm) en la concentración normalizada de O₂ (15,0% para motores diesel y 3,0% para calderas) debe ser inferior a 50 ppm.

3.8 Como alternativa a lo dispuesto en los párrafos 3.2-3.5 y 3.7, cada unidad SLGE-SO_x debe ser apta para reducir las emisiones a 65 o menos en la relación SO₂ (ppm)/CO₂ (%) en cualquier punto de carga cuando se opere de conformidad con los criterios que se indican en los párrafos 2.3.1 b) y 2.3.4.

4 APROBACIÓN DE LA UNIDAD SLGE-SO_x

4.1 Aprobación de la unidad

4.1.1 Una unidad SLGE-SO_x debe ser apta para satisfacer el valor límite de 6,0 g SO_x/kWh (distinto del que se recoge en la sección 3) con un fueloil que tenga un contenido máximo de azufre del 4,5% masa/masa y para los parámetros de funcionamiento de la gama para los que han sido aprobados, según se enumeran en el párrafo 2.3.1 b).

4.1.2 Cuando no vayan a realizarse ensayos con fueloil que tenga un contenido de azufre igual o superior al 4,5% masa/masa, éstos deben efectuarse para demostrar cómo influye en el funcionamiento del sistema el contenido de azufre del fueloil. En tales casos, y de conformidad con la sección 3 según corresponda, deben realizarse, al menos, dos ensayos no necesariamente consecutivos, pero sí en dos unidades SLGE-SO_x distintas, a la par que idénticos. El contenido mínimo de azufre del fueloil utilizado en uno de los ensayos no debe ser inferior al 2,0% de azufre masa/masa. El otro fueloil debe tener un contenido de azufre de, al menos, un 1,0% de azufre masa/masa por encima del contenido del fueloil con el contenido más bajo de azufre. A partir de todo lo anterior y de otros ensayos si fuera necesario, el fabricante del sistema de limpieza de los gases de escape-SO_x debe justificar que, de utilizarse con un fueloil que tenga un contenido de azufre del 4,5% masa/masa, la unidad SLGE-SO_x se ajustaría al límite prescrito de 6,0 g SO_x/kWh.

4.1.3 Se deben determinar los caudales máxicos de los gases de escape de la unidad que sean máxicos y, si procede, mínimos. El fabricante del equipo debe justificar el efecto de la variación de los demás parámetros que se definen en el párrafo 2.3.1 b). El efecto de las variaciones en estos factores habrá de ser evaluado mediante ensayos o de otro modo, según corresponda. Ninguna variación en estos factores, o combinación de las variaciones en estos factores, debe hacer que el valor de las emisiones de la unidad SLGE-SO_x sea superior a 6,0 g SO_x/kWh.

4.1.4 Los datos obtenidos de conformidad con esta sección deben presentarse a la Administración para su aprobación junto con el Manual técnico.

4.2 Unidades fabricadas en serie

En el caso de las unidades SLGE-SO_x nominalmente análogas y con los mismos caudales máxicos que se certifican en virtud de lo establecido en la sección 4.1, y para evitar que cada unidad SLGE-SO_x se someta a prueba de conformidad con el párrafo 2.2.1, el fabricante del equipo puede presentar una conformidad de acuerdo de producción para que la acepte la Administración. En virtud de este acuerdo, la certificación de cada unidad SLGE-SO_x debe estar sujeta a todos los reconocimientos que la Administración considere necesarios para asegurarse de que el valor de las emisiones procedentes de cada unidad SLGE-SO_x no es superior a 6,0 g SO_x/kWh cuando dicho sistema funciona de conformidad con los parámetros definidos en el párrafo 2.3.1 b).

4.3 Aprobación de la gama de productos

4.3.1 En el caso de una unidad SLGE-SO_x que tenga un proyecto idéntico, pero distintas capacidades de caudal másico máximo de los gases de escape, la Administración puede aceptar que, en lugar de someter a prueba todas las capacidades las unidades SLGE-SO_x de conformidad con la sección 4.1, los ensayos de dichos sistemas de limpieza se realicen con referencia a tres capacidades distintas, siempre y cuando estos ensayos se lleven a cabo con respecto a las unidades desde los índices de capacidad más alto, más bajo e intermedio de la gama.

4.3.2 Cuando existan diferencias significativas en el proyecto de las unidades SLGE-SO_x de capacidades distintas, no se debe aplicar este procedimiento salvo que, a satisfacción de la Administración, pueda demostrarse que en la práctica esas diferencias no alteran materialmente el funcionamiento entre los distintos tipos de unidades SLGE-SO_x.

4.3.3 Para las unidades SLGE-SO_x de capacidades distintas, deben ofrecerse datos relativos a la sensibilidad a las variaciones en el tipo de maquinaria de combustión a la que se encuentre acoplado el sistema, además de datos relativos a la sensibilidad a las variaciones en los parámetros enumerados en el párrafo 2.3.1 b). Esto se debe realizar tomando como base los ensayos u otros datos, según corresponda.

4.3.4 Se deben ofrecer datos relativos al efecto de los cambios de la capacidad de los SLGE-SO_x en las características del agua de lavado.

4.3.5 En virtud del párrafo 4.1.6, se deben presentar a la Administración todos los datos justificativos obtenidos de conformidad con esta sección, junto con el Manual técnico para cada capacidad de unidad.

4.3.6 Para el valor de emisión límite que se contempla en los párrafos 4.1.2, 4.1.3 y 4.2 podrá utilizarse un cociente SO₂ (ppm)/CO₂ (%) igual a 65.

5 ENSAYOS RELATIVOS A LAS EMISIONES

5.1 Los ensayos relativos a las emisiones deben ajustarse a lo prescrito en el capítulo 5 del Código Técnico sobre los NO_x y apéndices correspondientes, salvo lo previsto en las presentes Directrices.

5.2 Se debe medir el CO₂, el O₂ y el SO₂. El CO₂ y el O₂ como porcentaje con una precisión de +/- 1% de la lectura verdadera para una señal con una media de 10 s pero no inferior a un límite detectable mínimo de 5 ppm.

5.3 Debe medirse el SO₂, en seco o húmedo, utilizando analizadores infrarrojos no dispersivos (NDIR) o analizadores ultravioleta (NDUV) y con equipo complementario, como por ejemplo secadores, según se necesite. Se pueden aceptar otros sistemas o analizadores si con ellos se obtienen resultados equivalentes a los del equipo mencionado, a condición de que los apruebe la Administración.

5.4 La muestra de gas de escape para el SO₂ debe obtenerse a partir de un punto de muestreo representativo del efluente de la unidad SLGE-SO_x.

- 5.5 El SO₂ debe determinarse sobre el terreno o a partir de una muestra extraída.
- 5.6 La muestra a extraer del gas de escape para la determinación del SO₂ debe mantenerse a una temperatura suficiente con objeto de evitar la condensación de agua en el sistema de muestreo y, por tanto, la pérdida de SO₂.
- 5.7 La muestra a extraer del gas de escape para la determinación del SO₂ debe secarse antes del análisis, de tal forma que no dé lugar a la pérdida de SO₂ en la muestra analizada.
- 5.8 Cuando se mide el SO₂ sobre el terreno, también habrá de determinarse el contenido de agua en la corriente del gas de escape en ese punto para ajustar la lectura del SO₂ a un valor correspondiente a la base seca.
- 5.9 Se pueden utilizar los cálculos de los casos de combustión completa cuando vaya a calcularse el caudal másico del gas de escape de conformidad con el apéndice 6 del Código Técnico sobre los NO_x. El caudal másico del gas de escape (GEXHW) debe determinarse con respecto al flujo másico que entra en la unidad SLGE-SO_x.
- 5.10 Al aplicar la ecuación núm. 15 del Código Técnico sobre los NO_x, la concentración de SO₂ en base seca debe convertirse a un valor correspondiente a la base húmeda utilizando el factor de corrección base húmeda/base seca aplicable al gas de escape en la entrada a la unidad SLGE-SO_x (Ecuación núm. 11 del Código Técnico sobre los NO_x, CO = 0).

$$w = 0,002855, u = w/\text{densidad del gas de escape en g/m}^3 \text{ a } 0^{\circ}\text{C y } 101,3 \text{ kPa}$$

- 5.11 El fueloil que se utilice en el ensayo debe ser un producto de mezcla residual. Se debe analizar una muestra representativa de dicho fueloil para determinar su composición química (carbono, hidrógeno y azufre), junto con los demás parámetros que sean necesarios para establecer su grado conforme a la especificación ISO 8217.
- 5.12 Para el caso de los motores diesel, la potencia debe ser la potencia al freno sin corregir.
- 5.13 Para el caso de las calderas, la "potencia" debe determinarse a partir del flujo de combustible y de un consumo teórico de combustible en el freno igual a 200 g/kWh.
- 5.14 El valor determinado de emisión de SO₂ en cada punto de ensayo debe ser igual o inferior a 6,0 g SO₂/kWh.
- 5.15 En lugar del procedimiento de ensayo descrito en los párrafos 5.5 a 5.10 y 5.12 a 5.14, el cumplimiento puede demostrarse mediante la vigilancia permanente de la concentración de CO₂ en el flujo del gas de escape de la unidad SLGE-SO_x y la demostración de que el cociente SO₂ (ppm)/CO₂ (%) es como máximo 65 en cada etapa del ensayo.
- 5.16 Si se utiliza el método del cociente SO₂ (ppm)/CO₂ (%):

- a) las condiciones estipuladas en 5.4 y 5.5 deben también aplicarse a la medición de CO₂ (%) y se recomienda que las muestras de SO₂ y CO₂ se obtengan en el mismo lugar;

- b) las mediciones de de SO_2 y CO_2 se llevarán a cabo ya sea por encima de los puntos de rocío respectivos o completamente en seco reconociendo que las condiciones estipuladas en 5.6 - 5.8 no deben aplicarse a la medición de CO_2 (%);
- c) no es necesario determinar el contenido de carbono y hidrogeno de la prueba de combustible estipulada en 5.11;
- d) el cálculo del cociente $\text{SO}_2 / \text{CO}_2$ debe cumplir las prescripciones de la sección 10 del Plan B.

6 PROCEDIMIENTOS PARA DEMOSTRAR EL CUMPLIMIENTO DEL LÍMITE DE EMISIONES DE SO_2 A BORDO

6.1 En el Manual técnico de cada unidad SLGE- SO_x debe incluirse un procedimiento de verificación para su utilización en los reconocimientos según se necesite. Este procedimiento no debe exigir equipo especializado o un profundo conocimiento del sistema. Cuando se necesiten dispositivos concretos, éstos se deberán proveer y mantener como si formaran parte del sistema. El proyecto de la unidad SLGE- SO_x debe facilitar las inspecciones que sean necesarias. Este procedimiento de verificación se basa en que si todos los componentes importantes y los valores de funcionamiento o configuraciones se ajustan a lo aprobado, entonces el funcionamiento del sistema de limpieza de los gases de escape- SO_x se ajusta a lo requerido y no será necesario realizar mediciones de las emisiones reales de los gases de escape. No obstante, es necesario garantizar también que la unidad SLGE- SO_x esté acoplada a un elemento del equipo de combustión de fueloil para el que esté regulado (esto forma parte del plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x).

6.2 Todos los componentes y valores de funcionamiento o configuraciones que puedan repercutir en el funcionamiento de la unidad SLGE- SO_x y en su aptitud para ajustarse al límite de emisiones requerido deben estar incluidos en el procedimiento de verificación.

6.3 El procedimiento de verificación debe ser presentado por el fabricante del sistema de limpieza de los gases de escape- SO_x y ha de ser aprobado por la Administración.

6.4 El procedimiento de verificación debe abarcar una comprobación de la documentación de la unidad SLGE- SO_x así como una comprobación física del mismo.

6.5 El inspector debe verificar que cada unidad SLGE- SO_x ha sido instalado de conformidad con el Manual técnico relativo a los sistemas de limpieza de los gases de escape y dispone de un certificado de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x , según corresponda.

6.6 A discreción de la Administración, el inspector debe tener la posibilidad de comprobar alguno de los componentes, valores de funcionamiento o configuraciones identificados, o todos ellos. Cuando exista más de una unidad SLGE- SO_x , la Administración puede, a criterio propio, abreviar o reducir la extensión del reconocimiento a bordo. No obstante, debe realizarse un reconocimiento completo para, al menos, una unidad SLGE- SO_x de cada tipo que exista a bordo, siempre y cuando se espere que la otra unidad SLGE- SO_x funcione de forma idéntica al sistema reconocido.

6.7 En las unidades SLGE-SO_x deben incluirse los medios para llevar un registro automático de cuándo se esté utilizando el sistema. Dichos medios deben vigilar, como mínimo, la presión del agua de lavado y el caudal en la conexión de entrada de la unidad SLGE-SO_x, así como la temperatura de los gases de escape antes y después de pasar por dicho sistema. El sistema registrador de datos debe cumplir las prescripciones que figuran en la sección 13 del Plan B.

6.8 Si no está instalado un sistema de vigilancia continúa se recomienda que se realice una comprobación aleatoria diaria de la calidad de los gases de escape en términos del cociente SO₂ (ppm)/CO₂ (%), para comprobar el cumplimiento, junto con las comprobaciones de parámetros estipuladas en 6.7. Si dicho sistema está instalado, sólo se necesita una comprobación aleatoria diaria de los parámetros enumerados en 6.7 para verificar el funcionamiento correcto de la unidad SLGE-SO_x.

6.9 Si el fabricante de la unidad SLGE-SO_x no puede garantizar que la unidad cumplirá el valor límite de 6g SO_x /kWh o el cociente SO₂ (ppm)/CO₂ de 65 o inferior entre los reconocimientos mediante el procedimiento de verificación estipulado en 6.1, o si esto requiere equipo especializado o conocimientos detallados, se recomienda utilizar la vigilancia de los gases de escape de cada unidad SLGE-SO_x para garantizar el cumplimiento a los explotadores de buques cuando el buque navegue por una zona de control de las emisiones de SO_x y en el caso de inspección por la autoridad del Estado portuario.

6.10 El propietario del buque debe mantener un Libro registro de los SLGE-SO_x en el que queden registrados el mantenimiento y el servicio de la unidad. El formulario correspondiente debe ser presentado por el fabricante del SLGE-SO_x y ha de ser aprobado por la Administración. Este Libro registro debe estar disponible en el momento de los reconocimientos según se requiera, y puede consultarse junto con los diarios de máquinas y demás datos que resulten necesarios para confirmar que la unidad SLGE-SO_x funciona correctamente. De forma alternativa, esta información deberá introducirse en el sistema de registro de mantenimiento previsto del buque que apruebe la Administración.

7 VIGILANCIA DEL AGUA DE LAVADO

7.1 El suministro de agua de mar limpia a la unidad SLGE-SO_x y el agua de lavado que se descargue también deberán vigilarse con una frecuencia definida adecuada para los sensores utilizados, por si existieran alcalinidad o hidrocarburos y otros parámetros que puedan repercutir negativamente en los ecosistemas de la zona en la que se encuentre el buque, teniendo en cuenta las prescripciones de la sección 17. El buque debe utilizar los datos facilitados por esta labor de vigilancia para evaluar la aceptabilidad de la descarga del agua de lavado con respecto a los criterios que puedan haber elaborado las autoridades del Estado rector del puerto en cuestión.

7.2 El monitor del agua de lavado y el sistema de registro de datos cumplirán con las prescripciones de las secciones 12 y 13 del Plan B.

PLAN B - VIGILANCIA CONTINUA DE LAS EMISIONES DE SO_x

Cumplimiento demostrado durante el servicio mediante vigilancia continúa de los gases de escape. El sistema de vigilancia debe ser aprobado por la Administración, y ésta debe disponer de los resultados de la vigilancia cuando los necesite para demostrar el cumplimiento prescrito.

Además, en el caso de los buques que vayan a utilizar parcial o totalmente una unidad SLGE-SO_x, debe existir para cada buque, con objeto de cumplir lo prescrito en la regla 14 4), un plan de cumplimiento para las ZCES, aprobado por la Administración, en el que se especifique:

- a) cómo se alcanza el cumplimiento, y
- b) cómo se demuestra dicho cumplimiento.

8 GENERALIDADES

El presente Plan debe utilizarse para demostrar que las emisiones procedentes de un elemento del equipo de combustión de fueloil equipado con un sistema de limpieza de los gases de escape-SO_x presentarán, con dicho sistema funcionando, un valor de emisión del cociente SO₂ (ppm)/CO₂ (%) de como máximo 65 en cualquier punto de carga, incluida la fase de transición, de conformidad con lo dispuesto en la regla 14 4) b) del anexo VI del MARPOL.

9 MEDICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE

La composición de los gases de escape (SO₂ más CO₂) debe medirse en un lugar adecuado que se encuentre después de la unidad SLGE-SO_x.

10 CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE EMISIONES DE SO₂

10.1 Las concentraciones de SO₂ (ppm) y CO₂ (%) deben vigilarse en todo momento y se introducirán en un dispositivo de registro y procesamiento de datos a una frecuencia no inferior a 0,005 Hz.

10.2 Si se utiliza más de un analizador para determinar el cociente SO₂/CO₂ se ajustarán para que tengan tiempos de muestreo y de medición similares y los datos se alinearán de modo que el cociente SO₂/CO₂ sea plenamente representativo de la composición del gas de escape.

11 VIGILANCIA DEL AGUA DE LAVADO

El agua de mar limpia que alimenta la unidad SLGE-SO_x y el agua de lavado que se descargue también deberán vigilarse con una frecuencia definida que sea adecuada para los sensores utilizados, para detectar alcalinidad o hidrocarburos y otros parámetros que puedan repercutir negativamente en los ecosistemas de la zona en la que se encuentre el buque. El buque debe utilizar los datos facilitados por esta labor de vigilancia para evaluar la aceptabilidad de la descarga del agua de lavado con respecto a los criterios que puedan haber elaborado las autoridades del Estado rector del puerto en cuestión.

12 DISPOSITIVO DE REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

12.1 El dispositivo de registro y procesamiento de datos debe ser resistente, estar proyectado a prueba de manipulaciones indebidas y tener solamente capacidad de lectura.

12.2 El dispositivo de registro y procesamiento debe registrar los datos que se exigen en la sección 10.1 tomando como referencia el tiempo universal coordinado (UTC).

12.3 El dispositivo de registro y procesamiento debe ser capaz de elaborar informes en periodos de tiempo concretos.

12.4 Los datos deben conservarse durante, al menos, 18 meses a partir de la fecha del registro. Si se ha cambiado el sistema en ese periodo de tiempo, el propietario del buque debe garantizar que a bordo se conservan los datos prescritos y que se puede disponer de ellos cuando se necesiten.

12.5 El dispositivo debe ser capaz de descargar una copia de los datos registrados y de los informes en un formato que resulte fácil de utilizar. Dicha copia de datos e informes debe encontrarse disponible para la Administración o la autoridad del Estado rector del puerto cuando así lo soliciten.

13 MANUAL DE VIGILANCIA DE A BORDO

13.1 La elaboración del Manual de vigilancia de a bordo debe abarcar todos los elementos del equipo de combustión de fueloil que deban ser identificados y para los que se deba demostrar el cumplimiento mediante el presente Plan.

13.2 En el Manual de vigilancia de a bordo se deben incluir, como mínimo, los siguientes aspectos:

- a) los sensores que deben utilizarse para vigilar el rendimiento del motor y al agua de lavado, su servicio, y las prescripciones relativas a su mantenimiento y calibración;
- b) los puestos desde donde se realizarán las mediciones de las emisiones de los gases de escape junto con los datos relativos a todos los servicios auxiliares que resulten necesarios, como por ejemplo líneas de trasvase de muestras y unidades de tratamiento de muestras, además de todas las prescripciones que guarden relación con el servicio y el mantenimiento;
- c) los analizadores que vayan a ser utilizados así como las prescripciones relativas a su servicio, mantenimiento y calibración;
- d) los procedimientos de comprobación del cero y del calibrado del analizador; y
- e) otros datos o información pertinentes para el correcto funcionamiento del sistema de vigilancia o su utilización con el fin de demostrar el cumplimiento.

13.3 El Manual de vigilancia de a bordo debe indicar cómo se llevará a cabo el reconocimiento del sistema de vigilancia.

13.4 El Manual de vigilancia de a bordo debe ser aprobado por la Administración.

14 PLAN DE CUMPLIMIENTO PARA LAS ZONAS DE CONTROL DE LAS EMISIONES DE SO_x

Con objeto de cumplir lo prescrito en la regla 14 4), todos los buques que vayan a utilizar un sistema de limpieza de los gases de escape-SO_x, en parte o en su totalidad, deben contar con un plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x, aprobado por la Administración.

15 CUMPLIMIENTO POR EL BUQUE

15.1 En el plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x se debe enumerar cada elemento del equipo de combustión de fueloil que vaya a ajustarse a las prescripciones para funcionar dentro de una ZCES mediante una unidad SLGE-SO_x aprobada.

15.2 De acuerdo con el Plan A, el plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x debe presentar datos de vigilancia continuos que demuestren que los parámetros de 6.7 se mantienen dentro de los límites de las especificaciones recomendadas por el fabricante. De acuerdo con el Plan B, esto se demostrará utilizando registros diarios.

15.3 De acuerdo con el Plan B, el plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x debe presentar datos de vigilancia continuos que demuestren que el cociente SO₂ (ppm)/CO₂ (%) es como máximo de 65. De acuerdo con el Plan A, esto se demostrará utilizando registros diarios.

15.4 Puede que existan equipos, como por ejemplo motores o calderas pequeños, en los que no resultaría práctico acoplar unidades SLGE-SO_x, especialmente cuando dichos equipos estén ubicados a cierta distancia de los espacios de máquinas principales. En el plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x deben enumerarse todas esas unidades de combustión de fueloil. En el caso de todas las unidades de combustión de fueloil que no estén equipadas con una unidad SLGE-SO_x, debe conseguirse el cumplimiento mediante la regla 14 4) a) mientras el buque se encuentre en ZCES. Alternativamente, este cumplimiento podrá lograrse basándose en las emisiones totales del buque descritas en 15.7 y 15.8.

15.5 Por lo general, las prescripciones relativas a la construcción del buque exigen que cada unidad de combustión de fueloil disponga de su propio sistema de gases de escape con ventilación atmosférica. Por consiguiente, el cumplimiento por parte del buque puede quedar demostrado si cada elemento del equipo de combustión de fueloil se ajusta a lo prescrito en el Plan A o en el Plan B. Alternativamente, este cumplimiento podrá lograrse basándose en las emisiones totales del buque descritas en 15.7 y 15.8.

15.6 Se considerará que el buque cumple las prescripciones si todas las unidades de combustión de fueloil se ajustan a lo establecido en las reglas 14 4 a) o 14 4 b).

15.7 Teniendo en cuenta que el límite estipulado en la regla 14 4)b) corresponde al buque y no a cada elemento específico del equipo de combustión, el propietario del buque podrá compensar todo funcionamiento que supere considerablemente el límite de 6,0g SO_x/kWh o SO₂ (ppm)/CO₂ (%) como máximo 65 con el equipo, posiblemente no provisto de un sistema de limpieza de los gases de escape, que no cumpla dicha prescripción. Estos casos deben estar sujetos a una consideración especial por parte de la Administración. En concreto, el plan de cumplimiento

para las zonas de control de las emisiones de SO_x debe detallar el modo en el que van a acumularse todas las emisiones reales de SO_2 procedentes de cada unidad de combustión de fueloil con el fin de obtener un valor de las emisiones que sea global y en tiempo real para el caso de un buque que no supere el nivel de 6,0g SO_2/kWh o SO_2 (ppm)/ CO_2 (%) igual como máximo 65.

15.8 Puesto que el valor de emisiones prescrito en la regla 14 4) b) no es una opción equivalente sino una opción alternativa al valor señalado en la regla 14 4) a), si las unidades quemadoras superan en exceso el límite de la regla 14 4) a), como se indica en la sección 2.3, habrá que aplicar las prescripciones de la regla 14 4) b) cuando pueda documentarse claramente el contenido real de azufre en el fueloil utilizado en cualquier momento, junto con la prescripción de que el régimen específico de consumo de combustible (g fuel/kWh) de dicho equipo puede ser determinado en tiempo real (prescripciones relativas a la calibración de dicho equipo para cumplir las prescripciones que figuran en el Código Técnico sobre los NO_x).

15.9 En ningún momento durante la navegación en una ZCES deberán las emisiones totales del buque, según se describen en 15.5, exceder la prescripción de 6.0 g SO_x/kWh o excede el cociente SO_2 (ppm)/ $\text{CO}_2\%$ como máximo de 65. Se aconseja a los propietarios de buques que consideren el peor caso posible tal como la maniobra o las operaciones de gran potencia en sus estrategias de control de SO_x .

16 DEMOSTRACIÓN DEL CUMPLIMIENTO

16.1 El plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x no debe reproducir sino hacer referencia al Manual técnico y al Libro registro especificados en el mencionado Plan, según lo autorice la Administración.

16.2 Para todos los equipos de combustión de fueloil enumerados en 15.1, se deben aportar datos que demuestren que se cumplen los índices y las restricciones para la unidad SLGE- SO_x aprobada (párrafo 2.3.1 b)).

16.3 El caudal de agua de lavado y la presión en las conexiones de entrada de las unidades SLGE- SO_x , la alcalinidad del agua de lavado en las conexiones de entrada y salida de las unidades SLGE- SO_x , la presión del gas de escape antes y la caída en la presión en toda la unidad SLGE- SO_x , la carga del equipo de fueloil y demás parámetros que se consideren necesarios deben vigilarse y registrarse de forma continua mientras el buque se encuentre en una ZCES, con objeto de demostrar el cumplimiento.

16.4 El plan de cumplimiento para las zonas de control de las emisiones de SO_x debe hacer referencia al Manual de vigilancia de a bordo que haya aprobado la Administración, así como a los datos de entrada y a los informes resultantes.

17 AGUA DE LAVADO

Los sistemas de agua de lavado de las unidades SLGE-SO_x deberán:

- a) eliminar o reducir hasta un nivel en el que no sean perjudiciales, los hidrocarburos, los residuos de carbono, cenizas, vanadio, otros metales pesados y otras sustancias contenidas en el agua de lavado de las unidades SLGE-SO_x que puedan tener un impacto perjudicial en los ecosistemas si se descargan por la borda;
- b) garantizar que el enfoque adoptado para controlar la calidad del agua de lavado y los desechos residuales no se obtiene de un modo que ocasione contaminación en otras zonas o medios ambientales;
- c) tener en cuenta también las directrices que elaborará la Organización.

18 RESIDUOS DEL AGUA DE LAVADO

18.1 Los residuos generados por las unidades SLGE-SO_x deberán eliminarse en tierra. Estos residuos no se descargarán en el mar ni se incinerarán a bordo.

18.2 Las prescripciones de mantenimiento de registros sobre la eliminación de residuos de agua de lavado tendrán en cuenta las directrices que elaborará la Organización.

APÉNDICE

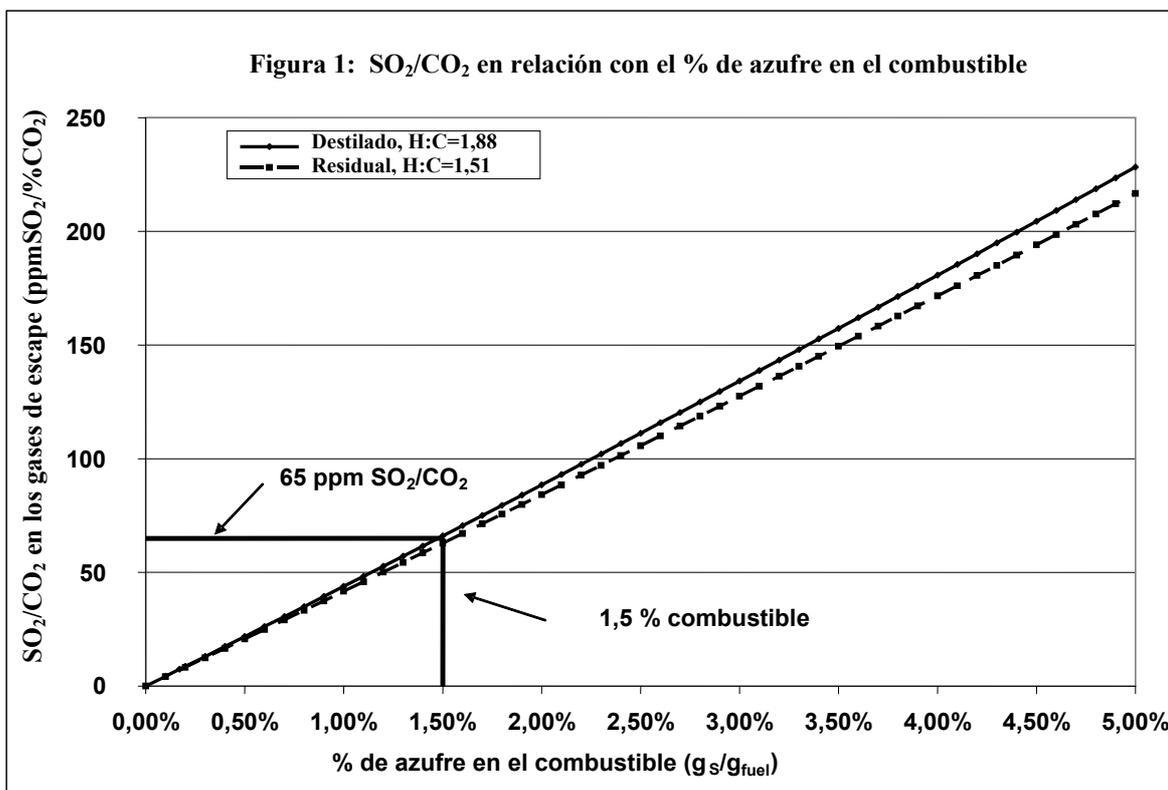
MÉTODO DE VIGILANCIA DE LA RELACIÓN ENTRE EL DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) Y EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

1 La correspondencia entre 65 (ppm/%) SO₂/CO₂ y un contenido del 1,5% de azufre en el combustible se demuestra calculando en primer lugar el cociente de masa del azufre del combustible en relación con el carbono, cociente que figura en el cuadro 1 con respecto a diferentes combustibles y contenidos de azufre en el combustible; se incluye el 1,5% de azufre tanto para los combustibles destilados como los residuales. Dichos cocientes se utilizaron para calcular las concentraciones correspondientes de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de carbono (CO₂) en los gases de escape, concentraciones que figuran en el cuadro 2. Los pesos moleculares (MW) se tuvieron en cuenta para convertir las fracciones de masa en fracciones molares. Por lo que respecta a los combustibles con un 1,5% de azufre que figuran en el cuadro 2, la cantidad de CO₂ se establece primero en un 8% y posteriormente se cambia a un 0,5%, con lo que se demuestra que los cambios en el aire sobrante no producen efecto alguno. Como se esperaba, la concentración absoluta de SO₂, cambia pero no así el cociente SO₂/CO₂. Ello indica que tal cociente es independiente de la proporción combustible - aire. En consecuencia, el cociente SO₂/CO₂ puede utilizarse sin problemas en cualquier punto de la operación, incluida aquélla en la que no se produce potencia al freno alguna.

Obsérvese que el cociente SO₂/CO₂ varía ligeramente del combustible destilado al residual. Ello se debe a que los dos tipos de combustible presentan una proporción de átomos de hidrógeno y carbono (H:C) muy diferente. En la figura 1 se ilustra el alcance de la sensibilidad de los cocientes SO₂/CO₂ frente a H:C con respecto a una amplia selección de H:C y concentraciones de azufre del combustible. A partir de la figura 1 puede concluirse que para niveles de azufre del combustible inferiores al 3,00% de S, la diferencia en los cocientes S/C para combustibles destilados y residuales es inferior al 5,0%.

Cuadro 1: Propiedades del combustible destilado y residual para usos marinos						
	Carbono	Hidrógeno	Azufre	Otros	H:C	S/C del combustible
	g/g	g/g	g/g	g/g	mol/mol	g/g
Destilado *	86,20%	13,60%	0,17%	0,03%	1,880	0,00197
Residual *	86,10%	10,90%	2,70%	0,30%	1,509	0,03136
Destilado 1,5% de S	85,05%	13,42%	1,50%	0,03%	1,880	<u>0,01764</u>
Residual 1.5% de S	87,17%	11,03%	1,50%	0,30%	1,509	<u>0,01721</u>
* Basado en las propiedades que figuran en las Directrices de la OMI para la vigilancia de los NO _x (Resolución MEPC.103(49))						

Cuadro 2: Cálculos de las emisiones correspondientes a un contenido del 1,5 % de azufre en el combustible				
	CO ₂	SO ₂	SO ₂ /CO ₂ en los gases de escape	S/C en los gases de escape
	%	¹ ppm	¹ ppm/%	g/g
Destilado 0,17% de S	8	59,1	7,4	0,00197
Residual 2,70% de S	8	939,7	117,5	0,03136
Destilado 1,5% de S	8	528,5	66,1	0,01764
Residual 1,5% de S	8	515,7	64,5	0,01721
Destilado 1,5% de S	0,5	33,0	66,1	0,01764
Residual 1,5% de S	0,5	32,2	64,5	0,01721



2 La correspondencia entre 65 (¹ppm/%) SO₂/CO₂ y el valor de 6,0 g SO_x/kWh queda patente demostrando que sus cocientes S/C son similares. Ello requiere la hipótesis adicional de un consumo de combustible específico al freno (BSFC) por un valor de 200 g/kWh. Tal valor es una media apropiada para los motores diesel marinos. El cálculo se efectúa del siguiente modo:

$$S/C_{\text{fuel}} = \frac{SO_2 \text{ específico al freno} * \left(\frac{MW_S}{MW_{SO_2}} \right)}{BSFC * \left(\frac{\% \text{ de carbono en combustible}}{100} \right)}$$

SO_2 específico al freno = 6,0 g/kW -hr

$MW_S = 32,065$ g/mol

$MW_{SO_2} = 64,064$ g/mol

BSFC = 200 g/kW -hr

% de carbono en combustible con 1,5% de S (procedente del cuadro 1) = 85,05% (destilado) y 87,17% (residual)

$$S/C_{\text{residual fuel}} = \frac{6 * \left(\frac{32,065}{64,064} \right)}{200 * \left(\frac{87,17\%}{100} \right)}$$

$S/C_{\text{residual fuel}} = 0,01723$

$$S/C_{\text{residual fuel}} = \frac{6 * \left(\frac{32,065}{64,064} \right)}{200 * \left(\frac{85,05\%}{100} \right)}$$

$S/C_{\text{residual fuel}} = 0,01765$

Obsérvese que los cocientes de masa S/C calculados anteriormente, basados en una concentración de 6,0 g/kWh de SO_2 y en un consumo específico de combustible al freno de 200 g/kWh, se encuentran ambos dentro del 0,10% de los cocientes de masa S/C del cuadro de emisiones (cuadro 2). En consecuencia, 65 ¹ppm SO_2/CO_2 se corresponde perfectamente con el valor de 6,0 g/kWh de SO_x que figura en la regla 14 4) b).

3 Así pues, las formulas de trabajo son las siguientes:

$$\text{Para una combustión completa} = \frac{SO_2 \text{ (ppm*)}}{CO_2 \text{ (%*)}} \leq 65$$

$$\text{Para una combustión incompleta} = \frac{SO_2 \text{ (ppm*)}}{CO_2 \text{ (%*)} + (CO \text{ (ppm*)}/10000) + (THC \text{ (ppm*)}/10000)} \leq 65$$

*Nota: Debe efectuarse un muestreo de las concentraciones de gas o convertirlas al mismo contenido de agua residual (por ejemplo, humedad máxima, humedad mínima)

4 A continuación se explican los principios que justifican la utilización del valor de 65 (¹ppm/%) SO_2/CO_2 como el límite para determinar el cumplimiento de la regla 14:

a) Dicho límite puede utilizarse para determinar si los quemadores de fueloil que no producen potencia mecánica cumplen tal regla.

- b) El límite puede utilizarse para determinar el cumplimiento en cualquier potencia de salida, incluso con el motor funcionando en vacío.
 - c) El límite solamente exige dos mediciones de la concentración de gas en un punto de muestreo.
 - d) No es necesario medir parámetro alguno del motor, tales como velocidad, par, flujo de gases de escape o flujo de combustible.
 - e) Si las dos mediciones de la concentración del gas se efectúan con el mismo contenido de agua residual en la muestra (por ejemplo, humedad máxima, humedad mínima), en el cálculo no es necesario utilizar los factores de conversión de humedad mínima a máxima.
 - f) El límite permite separar por completo la eficacia térmica de la unidad de combustión del fueloil de la unidad SLGE-SO_x.
 - g) No es necesario conocer las propiedades del combustible.
 - h) Dado que solamente se efectúan dos mediciones en un solo punto, los efectos transitorios del motor o de la unidad SLGE-SO_x pueden reducirse al mínimo alineando las señales de solamente esos dos analizadores. (Obsérvese que los puntos más apropiados para la alineación son aquéllos en los que cada analizador responde a un cambio en escalón en las emisiones en la sonda de muestreo por un 50% del valor en estado estacionario).
 - i) Este límite es independiente de la cantidad de gases de escape diluidos. Puede producirse dilución debido a la evaporación de agua en una unidad SLGE-SO_x, y como parte de un sistema de preacondicionamiento del dispositivo de muestreo de los gases de escape.
- 1 ppm significa "partes por millón. Se parte de la hipótesis de que la medición de las ppm se efectúa mediante analizadores de gas utilizando una referencia molar y partiendo de un comportamiento ideal en los gases. En realidad, las unidades correctas desde el punto de vista técnico son los micromoles de sustancia por mol de cantidad total ($\mu\text{mol/mol}$), pero se utilizan las ppm a fin de mantener la coherencia con las unidades que aparecen en el Código Técnico sobre los NO_x.
