

Normas y métodos  
recomendados internacionales



**Anexo 16**  
al Convenio sobre  
Aviación Civil Internacional

# Protección del medio ambiente

---

**Volumen II**  
Emisiones de los motores  
de las aeronaves

Esta edición incorpora todas las enmiendas adoptadas por el Consejo antes del 8 de marzo de 2008 y reemplaza, desde el 20 de noviembre de 2008, todas las ediciones anteriores del Anexo 16, Volumen II.

Véase en el Preámbulo la información relativa a la aplicación de las normas y métodos recomendados.

Tercera edición  
Julio de 2008

Organización de Aviación Civil Internacional



**Normas y métodos  
recomendados internacionales**



**Anexo 16  
al Convenio sobre  
Aviación Civil Internacional**

# **Protección del medio ambiente**

---

**Volumen II  
Emisiones de los motores  
de las aeronaves**

Esta edición incorpora todas las enmiendas adoptadas por el Consejo antes del 8 de marzo de 2008 y reemplaza, desde el 20 de noviembre de 2008, todas las ediciones del Anexo 16, Volumen II.

Véase en el Preámbulo la información relativa a la aplicación de las normas y métodos recomendados.

Tercera edición  
Julio de 2008

**Organización de Aviación Civil Internacional**

Publicado por separado en español, francés, inglés y ruso, por la  
ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL  
999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

La información sobre pedidos y una lista completa de los agentes  
de ventas y librerías, pueden obtenerse en el sitio web de la OACI:  
[www.icao.int](http://www.icao.int).

*Primera edición, 1981*  
*Segunda edición, 1993*  
*Tercera edición, 2008*

**Anexo 16 — Protección del medio ambiente**  
**Volumen II — Emisiones de los motores de las aeronaves**

Núm. de pedido: AN 16-2  
ISBN 978-92-9231-135-3

© OACI 2008

Reservados todos los derechos. No está permitida la reproducción, de  
ninguna parte de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni su  
transmisión, de ninguna forma ni por ningún medio, sin la autorización previa  
y por escrito de la Organización de Aviación Civil Internacional.

## ENMIENDAS

La publicación de enmiendas se anuncia periódicamente en los suplementos del *Catálogo de publicaciones de la OACI*; el Catálogo y sus suplementos pueden consultarse en el sitio web de la OACI: [www.icao.int](http://www.icao.int). Las casillas en blanco facilitan la anotación de estas enmiendas.

### REGISTRO DE ENMIENDAS Y CORRIGENDOS

ENMIENDAS			
Núm.	Fecha de aplicación	Fecha de anotación	Anotada por
1-6	Incorporadas en esta edición		
7	17/11/11	–	OACI

CORRIGENDOS			
Núm.	Fecha de publicación	Fecha de anotación	Anotado por



# ÍNDICE

*Página*

Preámbulo .....	(ix)
<b>Parte I. DEFINICIONES Y SÍMBOLOS .....</b>	<b>I-1-1</b>
CAPÍTULO 1. Definiciones .....	I-1-1
CAPÍTULO 2. Símbolos .....	I-2-1
<b>Parte II. PURGA DE COMBUSTIBLE .....</b>	<b>II-1-1</b>
CAPÍTULO 1. Administración .....	II-1-1
CAPÍTULO 2. Prevención de la purga voluntaria de combustible .....	II-2-1
<b>Parte III. CERTIFICACIÓN RESPECTO A LAS EMISIONES .....</b>	<b>III-1-1</b>
CAPÍTULO 1. Administración .....	III-1-1
CAPÍTULO 2. Motores turborreactores y turbofán proyectados para propulsar aeronaves exclusivamente a velocidades subsónicas .....	III-2-1
2.1 Generalidades .....	III-2-1
2.2 Humo .....	III-2-3
2.3 Emisiones gaseosas .....	III-2-3
2.4 Datos necesarios .....	III-2-5
CAPÍTULO 3. Motores turborreactores y turbofán proyectados para propulsar aeronaves a velocidades supersónicas .....	III-3-1
3.1 Generalidades .....	III-3-1
3.2 Humo .....	III-3-3
3.3 Emisiones gaseosas .....	III-3-3
3.4 Datos necesarios .....	III-3-3
<b>APÉNDICES</b>	
APÉNDICE 1. Medición de la relación de presión de referencia .....	AP 1-1
1. Generalidades .....	AP 1-1
2. Medición .....	AP 1-1

	<i>Página</i>
APÉNDICE 2. Evaluación de las emisiones de humo .....	AP 2-1
1. Introducción y definiciones .....	AP 2-1
2. Medición de las emisiones de humo .....	AP 2-1
3. Cálculo del índice de humo a base de los datos medidos .....	AP 2-6
4. Notificación de los datos a la autoridad encargada de la certificación .....	AP 2-6
APÉNDICE 3. Instrumentos y métodos de medición de las emisiones gaseosas .....	AP 3-1
1. Introducción .....	AP 3-1
2. Definiciones .....	AP 3-1
3. Datos necesarios .....	AP 3-2
4. Disposición general del sistema .....	AP 3-3
5. Descripción de los componentes .....	AP 3-3
6. Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general .....	AP 3-5
7. Cálculos .....	AP 3-7
Adjunto A del Apéndice 3. Especificaciones del analizador de HC .....	AP 3-14
Adjunto B del Apéndice 3. Especificaciones de los analizadores de CO y de CO <sub>2</sub> .....	AP 3-16
Adjunto C del Apéndice 3. Especificaciones del analizador de NO <sub>x</sub> .....	AP 3-18
Adjunto D del Apéndice 3. Gases de calibración y de ensayo .....	AP 3-20
Adjunto E del Apéndice 3. Cálculo de los parámetros de las emisiones — base, correcciones de la medición y método numérico de alternativa .....	AP 3-22
Adjunto F del Apéndice 3. Especificaciones en cuanto a los datos adicionales .....	AP 3-28
APÉNDICE 4. Especificación del combustible que ha de utilizarse en las pruebas de las emisiones de los motores de turbina .....	AP 4-1
APÉNDICE 5. Instrumentos y métodos de medición de las emisiones gaseosas de los motores de turbina de gas con postcombustión .....	AP 5-1
1. Introducción .....	AP 5-1
2. Definiciones .....	AP 5-1
3. Datos necesarios .....	AP 5-2
4. Disposición general del sistema .....	AP 5-3
5. Descripción de los componentes .....	AP 5-3
6. Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general .....	AP 5-6
7. Cálculos .....	AP 5-8
Adjunto A del Apéndice 5. Especificaciones del analizador de HC .....	AP 5-16
Adjunto B del Apéndice 5. Especificaciones de los analizadores de CO y de CO <sub>2</sub> .....	AP 5-18
Adjunto C del Apéndice 5. Especificaciones del analizador de NO <sub>x</sub> .....	AP 5-20



---

	<i>Página</i>
Adjunto D del Apéndice 5. Gases de calibración y de ensayo .....	AP 5-22
Adjunto E del Apéndice 5. Cálculo de los parámetros de las emisiones — base, correcciones de la medición y método numérico de alternativa .....	AP 5-24
Adjunto F del Apéndice 5. Especificaciones en cuanto a los datos adicionales .....	AP 5-30
APÉNDICE 6. Procedimiento para certificar el cumplimiento con respecto al humo y a las emisiones gaseosas .....	AP 6-1
1. Generalidades .....	AP 6-1
2. Procedimiento para certificar el cumplimiento .....	AP 6-1
3. Procedimiento en caso de rechazo .....	AP 6-2

---



# PREÁMBULO

## Antecedentes

En 1972 se celebró en Estocolmo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. La posición de la OACI, ante esa Conferencia, fue objeto de la Resolución A18-11 de la Asamblea, que, entre otras cosas, dice lo siguiente:

- “2. Que al desempeñar ese papel, la OACI está consciente de los efectos adversos en el medio ambiente que pueden relacionarse con la actividad de las aeronaves y de la responsabilidad de la OACI y de sus Estados miembros en lograr la mayor compatibilidad posible entre el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil y la calidad del medio humano;”

El 18º período de sesiones de la Asamblea también adoptó la Resolución A18-12, relacionada con el medio humano, que dice lo siguiente:

“LA ASAMBLEA:

1. PIDE al Consejo que, con la ayuda y cooperación de otros órganos de la Organización y de otros organismos internacionales, prosiga enérgicamente la labor de preparación de normas, métodos recomendados y procedimientos, o de textos de orientación referentes a la calidad del medio humano;”

A raíz de esta resolución, la OACI organizó un programa de acción atinente al medio ambiente. Como parte de ese programa, se creó un grupo de estudio para que colaborase con la Secretaría en determinadas labores relacionadas con las emisiones de los motores de las aeronaves. Como resultado de la labor realizada por ese grupo de estudio, en 1977 la OACI publicó una circular titulada *Regulación de las emisiones de los motores de las aeronaves* (Circular 134). Esta Circular contiene textos de orientación a base de un procedimiento de certificación para regular la pérdida de combustible, el humo y ciertas emisiones gaseosas provenientes de los nuevos motores turboreactores y turbofán proyectados para la propulsión de aeronaves a velocidades subsónicas.

El Consejo convino en que el asunto de las emisiones de los motores de las aeronaves no sólo se confinaba a los aspectos técnicos objetivos, sino que también reclamaba el estudio de expertos en diferentes actividades, sin olvidar las opiniones directas de los Estados miembros. Así pues, en 1977 se creó un comité del Consejo, denominado Comité sobre las emisiones de los motores de las aeronaves (CAEE), para que profundizase varios aspectos de esta cuestión.

Con ocasión de la segunda reunión de ese Comité sobre las emisiones de los motores de las aeronaves, celebrada en mayo de 1980, se propusieron textos para su inclusión en algún Anexo de la OACI. Hechas las enmiendas necesarias, a raíz de la consulta acostumbrada a los Estados miembros de la Organización, el texto propuesto fue adoptado por el Consejo como texto del presente documento. El Consejo consideró que era conveniente incluir en un solo Anexo, todas las disposiciones relacionadas con los aspectos del ambiente en el que se desenvuelve la aviación. En vista de ello, cambió el título del Anexo 16 a “Protección del medio ambiente”, el texto actual del Anexo pasó a ser el “Volumen I — Ruido de las aeronaves”, y el contenido en el presente documento se convirtió en el “Volumen II — Emisiones de los motores de las aeronaves”.

## Aplicación

La Parte I del Volumen II del Anexo 16 contiene definiciones y la Parte II contiene normas relacionadas con la purga del combustible. La Parte III contiene normas relacionadas con la certificación de las emisiones, aplicables a las diversas clases de motores de aeronave especificadas en cada uno de los capítulos de esta parte, cuando esos motores se instalan en aeronaves que se dedican a la aviación civil internacional.

### Medidas a tomar por los Estados contratantes

*Notificación de diferencias.* Se señala a la atención de los Estados contratantes la obligación que les impone el Artículo 38 del Convenio, en virtud del cual se pide a los Estados contratantes que notifiquen a la Organización cualquier diferencia entre sus reglamentos y métodos nacionales y las normas internacionales contenidas en este Anexo y en las enmiendas del mismo. Se pide a los Estados contratantes que en su notificación incluyan las diferencias respecto a los métodos recomendados contenidos en este Anexo y en las enmiendas del mismo, cuando la notificación de dichas diferencias sea de importancia para la seguridad de la navegación aérea. Además, se invita a los Estados contratantes a que mantengan a la Organización debidamente informada de todas las diferencias subsiguientes, o de la eliminación de cualquiera de ellas notificada previamente. Inmediatamente después de la adopción de cada enmienda de este Anexo, se enviará a los Estados contratantes una solicitud específica para la notificación de diferencias.

También se señala a la atención de los Estados lo dispuesto en el Anexo 15 referente a la publicación de diferencias entre sus reglamentos y métodos nacionales y las correspondientes normas y métodos recomendados de la OACI por medio del servicio de información aeronáutica, además de la obligación que impone a los Estados el Artículo 38 del Convenio.

*Uso del texto del Anexo en los reglamentos nacionales.* El Consejo, el 13 de abril de 1948, adoptó una resolución en la que hacía presente a los Estados contratantes, la conveniencia de que, en la medida de lo posible, emplearan en sus propios reglamentos nacionales la misma redacción de las normas de la OACI que tiene carácter preceptivo, y que indicaran también cuándo se han apartado del texto de las normas, así como las demás disposiciones nacionales que tuvieran importancia para la seguridad y regularidad de la navegación aérea internacional. Siempre que ha sido posible, las disposiciones de este Anexo se han redactado de manera que puedan incluirse en las legislaciones nacionales sin variaciones importantes.

### Carácter de cada una de las partes componentes del Anexo

Los Anexos constan de las siguientes partes, aunque no obligatoriamente, y cada una de ellas tiene el carácter que se indica:

#### 1.— *Texto que constituye el Anexo propiamente dicho:*

- a) *Normas y Métodos recomendados* que el Consejo ha adoptado de conformidad con las disposiciones del Convenio. Su definición es la siguiente:

*Norma:* Toda especificación de características físicas, configuración, material, performance, personal o procedimiento, cuya aplicación *uniforme* se considera necesaria para la seguridad o regularidad de la navegación aérea internacional y a la que, de acuerdo con el Convenio, se ajustarán los Estados contratantes. En el caso de que sea imposible su cumplimiento, el Artículo 38 del Convenio estipula que es obligatorio hacer la correspondiente notificación al Consejo.

*Método recomendado.* Toda especificación de características físicas, configuración, material, performance, personal o procedimiento, cuya aplicación uniforme se considera conveniente por razones de seguridad, regularidad o eficiencia de la navegación aérea internacional, y a la cual, de acuerdo con el Convenio, tratarán de ajustarse los Estados contratantes.

- b) *Apéndices* con texto que por conveniencia se agrupa por separado, pero que forma parte de las normas y métodos recomendados que ha adoptado el Consejo.
- c) *Disposiciones* que gobiernan la aplicación de las normas y métodos recomendados.
- d) *Definiciones* de la terminología empleada en las normas y métodos recomendados, que no es explícita porque no tiene el significado corriente. Las definiciones no tienen carácter independiente pues son parte esencial de cada una de las normas y métodos recomendados en que se usa la terminología, ya que cualquier cambio en el significado de ésta afectaría la disposición.

- e) *Tablas y Figuras* que aclaran o ilustran una norma o método recomendado y a las cuales éstos hacen referencia, forman parte de la norma o método recomendado correspondiente y tienen el mismo carácter.

2.— *Texto aprobado por el Consejo para su publicación en relación con las normas y métodos recomendados:*

- a) *Preámbulos* que comprenden antecedentes históricos y textos explicativos basados en las medidas del Consejo, y que incluyen una explicación de las obligaciones de los Estados, dimanantes del Convenio y de las resoluciones de adopción, en cuanto a la aplicación de las normas y métodos recomendados.
- b) *Introducciones* que contienen texto explicativo al principio de las partes, capítulos y secciones del Anexo, a fin de facilitar la comprensión de la aplicación del texto.
- c) *Notas* intercaladas en el texto, cuando corresponde, que proporcionan datos o referencias acerca de las normas o métodos recomendados de que se trate, sin formar parte de tales normas o métodos recomendados.
- d) *Adjuntos* que contienen texto suplementario a las normas y métodos recomendados o que sirven de guía para su aplicación.

### Cláusula de exención de responsabilidad respecto a patentes

Se señala a la atención la posibilidad de que algunos elementos de las normas y métodos recomendados del presente Anexo pueden ser objeto de patentes u otros derechos de propiedad intelectual. La OACI no estará obligada ni asumirá ninguna responsabilidad jurídica por no señalar todas o cualquiera de tales patentes u otros derechos de propiedad intelectual. La OACI no adopta ninguna postura respecto a la existencia, validez, alcance o aplicación de cualesquiera patentes u otros derechos de propiedad intelectual aducidos y no acepta ninguna obligación ni responsabilidad jurídica consiguiente o en relación con los mismos.

### Elección de idioma

Este Anexo se ha adoptado en cuatro idiomas — español, francés, inglés y ruso. Se pide a cada uno de los Estados contratantes que elija uno de esos textos para los fines de aplicación nacional y demás efectos previstos en el Convenio, ya sea para utilizarlo directamente o mediante traducción a su propio idioma, y que notifique su preferencia a la Organización.

### Presentación editorial

Para facilitar la lectura e indicar su condición respectiva, las Normas aparecen en tipo corriente; y los *Métodos recomendados* y las *Notas* en letra bastardilla, precedidas de la palabra **Recomendación** y *Nota* respectivamente.

Cabe señalar además que en el texto español el carácter obligatorio de las normas se expresa mediante el uso del futuro del verbo, mientras que en los métodos recomendados se utiliza el término “debería”.

Las unidades de medida utilizadas en el presente documento se ajustan al Sistema Internacional de Unidades (SI), según se especifica en el Anexo 5 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. En los casos en que el Anexo 5 permite la utilización de unidades opcionales ajenas al SI, las mismas se indican entre paréntesis a continuación de las unidades básicas. Cuando se indiquen dos conjuntos de unidades, no debe suponerse que los pares de valores son iguales e intercambiables. No obstante, puede inferirse que se logra un nivel de seguridad operacional equivalente cuando se utiliza exclusivamente uno u otro conjunto de unidades.

De conformidad con lo previsto en el Anexo 5, en el presente documento se emplea el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Toda referencia hecha a cualquier parte de este documento, identificada por un número, comprende todas las subdivisiones de dicha parte.

Tabla A. Enmiendas del Anexo 16

Enmienda	Origen	Temas	Adoptada Surtió efecto Aplicable
1ª edición	Conferencia especial sobre el ruido producido por las aeronaves en las proximidades de los aeródromos (1969)		2 de abril de 1971 2 de agosto de 1971 6 de enero de 1972
1	Primera Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Homologación en cuanto al ruido en la producción futura y versiones perfeccionadas de aviones subsónicos de reacción, y actualización de la terminología utilizada para describir el peso de las aeronaves.	6 de diciembre de 1972 6 de abril de 1973 16 de agosto de 1973
2	Tercera Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Homologación en cuanto al ruido de aviones ligeros propulsados por hélice y de aviones subsónicos de reacción, de 5 700 kg o menos de peso máximo certificado de despegue, y orientación destinada a señalar a los Estados el modo de desempeñar sus funciones en los casos de arrendamiento, fletamento o intercambio de aeronaves.	3 de abril de 1974 3 de agosto de 1974 27 febrero de 1975
3 (2ª edición)	Cuarta Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Homologación en cuanto al ruido para los futuros aviones subsónicos de reacción y de los propulsados por hélice, aparte de los aviones STOL, y directrices para la certificación acústica de los futuros aviones supersónicos de transporte, de los aviones STOL propulsados por hélice, de los grupos auxiliares de energía (APU) y de los sistemas auxiliares de las aeronaves durante las operaciones en tierra.	21 de junio de 1976 21 de octubre de 1976 6 de octubre de 1977
4 (3ª edición)	Quinta Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	Introducción de un nuevo parámetro, el número de motores, en las normas de certificación acústica de los aviones subsónicos de reacción; mejora de los procedimientos de prueba detallados para velar porque se aplique el mismo nivel de tecnología a todos los tipos de aeronaves; y mejoras editoriales para simplificar la redacción y eliminar incongruencias.	6 de marzo de 1978 6 de julio de 1978 10 de agosto de 1978
5 (Anexo 16, Volumen I — 1ª edición)	Sexta Reunión del Comité sobre el ruido producido por las aeronaves	1. El Anexo ha pasado a titularse <i>Protección del medio ambiente</i> y se publicará en dos volúmenes, a saber: Volumen I — <i>Ruido de las aeronaves</i> (incluye las disposiciones contenidas en la tercera edición del Anexo 16, modificadas por la Enmienda 5) y Volumen II — <i>Emisiones de los motores de las aeronaves</i> .  2. Introducción en el Volumen I de normas para la homologación de helicópteros en cuanto al ruido y relativas a la producción futura de aviones SST, actualización de las directrices para la homologación en cuanto al ruido de APU instalados y sistemas asociados de aeronaves, y enmiendas de redacción que incluyen los cambios en las unidades de medida dirigidos a armonizar este Anexo con las disposiciones del Anexo 5.	11 de mayo de 1981 11 de septiembre de 1981 26 de noviembre de 1981
6 (Anexo 16, Volumen II — 1ª edición)	Segunda Reunión del Comité sobre las emisiones de los motores de las aeronaves	Introducción del Volumen II que contiene normas relativas al control de la purga del combustible, del humo y de las emisiones gaseosas procedentes de los motores turboreactores y turbofán de nueva fabricación, previstos para la propulsión subsónica y supersónica.	30 de junio de 1981 30 de octubre de 1981 18 de febrero de 1982
1	Primera Reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	Cambios de las especificaciones del combustible de prueba, Apéndice 4.	4 de marzo de 1988 31 de julio de 1988 17 de noviembre de 1988

<i>Enmienda</i>	<i>Origen</i>	<i>Temas</i>	<i>Adoptada Surtió efecto Aplicable</i>
2 (2ª edición)	Segunda reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	a) mayor rigurosidad de los límites de las emisiones de NO <sub>x</sub> ; b) mejoras en el procedimiento de certificación del humo y las emisiones gaseosas.	24 de marzo de 1993 26 de julio de 1993 11 de noviembre de 1993
3	Tercera reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	Enmienda de los criterios sobre los gases de calibración y de ensayo en los Apéndices 3 y 5.	20 de marzo de 1997 20 de marzo de 1997 —
4	Cuarta reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	Mayor rigurosidad de los límites de las emisiones NO <sub>x</sub> .	26 de febrero de 1999 19 de julio de 1999 4 de noviembre de 1999
5	Sexta reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	Aumento de la rigurosidad de las normas relativas a las emisiones de NO <sub>x</sub> .	23 de febrero de 2005 11 de julio de 2005 24 de noviembre de 2005
6 (3ª edición)	Séptima reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación	a) aclaración de las correcciones aplicables a las condiciones diurnas de referencia y las condiciones del motor de referencia y de la terminología utilizada en relación con la humedad; b) enmiendas que permiten la utilización de combustibles que no sean los especificados, con la aprobación de las autoridades que se encargan de la certificación; c) normalización de la terminología relativa al reglaje del empuje; d) aclaración del valor apropiado del flujo de combustible que se utilizará en cada punto LTO; y e) enmiendas de los requisitos en los que se especifican los materiales que pueden utilizarse en los dispositivos de muestreo.	7 de marzo de 2008 20 de julio de 2008 20 de noviembre de 2008
7	Octava reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación (CAEP/8).	a) aumento de la rigurosidad de las normas sobre emisiones de NO <sub>x</sub> ; b) actualización de las referencias al Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves; c) actualización del texto para sustituir “modificaciones del procedimiento” por “procedimientos equivalentes” con el fin de mejorar la coherencia y armonización en el Anexo 16, Volumen II y con el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves; d) alineamiento del formato de las fechas de aplicación en 2.3.2 para que concuerde con la convención que se utiliza en el Anexo 6 y el Anexo 16, Volumen I; e) mejoramiento de la legibilidad mediante el traslado de algunos párrafos a lugares más apropiados; y f) modificaciones menores de carácter editorial.	4 de marzo de 2011 18 de julio de 2011 17 de noviembre de 2011





# NORMAS Y MÉTODOS RECOMENDADOS INTERNACIONALES

## PARTE I. DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

### CAPÍTULO 1. DEFINICIONES

Las expresiones que siguen, utilizadas en el Volumen II de este Anexo, tienen los significados que se indican a continuación:

**Empuje nominal.** A los efectos de las emisiones de los motores, significa el empuje de despegue máximo aprobado por la autoridad encargada de la certificación que ha de aplicarse en condiciones normales de operación y en condiciones estáticas al nivel del mar, a la atmósfera tipo internacional (ISA), y sin utilizar inyección de agua. El empuje se expresa en kilonewtons.

**Fase de aproximación.** Fase de utilización definida por el tiempo durante el cual el motor funciona en la modalidad de aproximación.

**Fase de ascenso.** Fase definida por el tiempo durante el cual el motor funciona en la modalidad de ascenso.

**Fase de despegue.** Fase de utilización definida por el tiempo durante el cual el motor funciona al régimen de empuje nominal.

**Fecha de fabricación.** La fecha en la cual se haya librado el correspondiente documento que atestigüe que el motor o la aeronave en cuestión se ajusta a las exigencias correspondientes al tipo de motor de que se trata, o la fecha de libramiento de algún documento análogo.

**Hidrocarburos sin quemar.** Cantidad de compuestos de hidrocarburos de todas clases y pesos moleculares, contenidos en una muestra de gas, calculada en el equivalente de metano.

**Humo.** Materias carbonosas, contenidas en las emisiones del escape, que obstaculizan la transmisión de la luz.

**Índice de humo.** Término adimensional que cuantifica las emisiones de humo (véase 3 del Apéndice 2).

**Óxidos de nitrógeno.** La suma de las partes de óxido nítrico y de dióxido de nitrógeno contenidas en una muestra de gas, calculada como si el óxido nítrico estuviese presente en forma de dióxido de nitrógeno.

**Postcombustión.** Modalidad de utilización de un motor con un sistema de combustión alimentado (total o parcialmente) con aire viciado.

**Relación de presión de referencia.** Relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA), al nivel del mar.

*Nota.*— Los métodos para medir la relación de presión de referencia aparecen en el Apéndice 1.

**Rodaje/marcha lenta en tierra.** Fases de utilización que comprenden el rodaje o el funcionamiento a bajo régimen desde la puesta en marcha inicial del motor o motores de propulsión hasta la iniciación del recorrido de despegue, y entre el momento de salida de la pista y aquél en el que se paran definitivamente todos los motores de propulsión.

**Tobera de escape.** Tratándose del muestreo de las emisiones de escape de los motores de turbina de gas en los que la emanación del chorro no sale mezclada (como por ejemplo, en algunos motores turbofán), la tobera considerada es aquella por la cual pasa únicamente el flujo de salida del generador de gas (núcleo). No obstante, cuando la emanación del chorro sale mezclada, la tobera considerada es aquella por la cual pasan todos los gases.

**Versión derivada.** Todo motor aéreo de turbina de gas genéricamente del mismo tipo previamente certificado, del que proceda, y que tenga características que retengan el núcleo básico y la cámara de combustión — y accesorios conexos — del motor de que dimana y cuyos otros factores, a juicio de la autoridad encargada de la certificación, no hayan variado.

*Nota.*— Se hace notar la diferencia entre la definición de “versión derivada de una aeronave” que figura en el Volumen I del Anexo 16 y la definición de “versión derivada” incluida en el presente volumen.

## CAPÍTULO 2. SÍMBOLOS

Los símbolos que siguen, utilizados en el Volumen II de este Anexo, tienen los significados que se indican:

CO	Monóxido de carbono
$D_p$	La masa de todo gas contaminante emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones
$F_n$	Empuje en la atmósfera tipo internacional (ISA), en condiciones al nivel del mar, correspondiente a determinada modalidad de utilización
$F_{oo}$	Empuje nominal ( <i>véase</i> definición)
$F^*_{oo}$	Empuje nominal con postcombustión
HC	Hidrocarburos sin quemar ( <i>véase</i> definición)
NO	Óxido nítrico
NO <sub>2</sub>	Bióxido de nitrógeno
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno ( <i>véase</i> definición)
SN	Índice de humo ( <i>véase</i> definición)
$\pi_{oo}$	Relación de presión de referencia ( <i>véase</i> definición)

---



## PARTE II. PURGA DEL COMBUSTIBLE

### CAPÍTULO 1. ADMINISTRACIÓN

1.1 Lo previsto en esta parte se aplicará a todas las aeronaves equipadas con motor de turbina que hayan de utilizarse en la navegación aérea internacional, fabricadas después del 18 de febrero de 1982.

1.2 La certificación relacionada con la prevención de la purga voluntaria de combustible la otorgará, a base de pruebas convincentes, la autoridad encargada de la certificación, al efecto de que ya sea la aeronave o los motores de ésta, se ajusten a lo previsto en el Capítulo 2.

*Nota.— El documento que atestigüe la certificación pertinente a la purga del combustible podrá consistir en un certificado independiente o en una declaración apropiada extendida en algún documento autorizado por la autoridad encargada de la certificación.*

1.3 Los Estados contratantes reconocerán como válido todo certificado sobre la purga del combustible otorgado por la autoridad encargada de la certificación de otro Estado contratante, siempre que las formalidades, a base de las cuales se haya otorgado, sean no menos rigurosas que las previstas en el Volumen II del presente Anexo.



## **CAPÍTULO 2. PREVENCIÓN DE LA PURGA VOLUNTARIA DE COMBUSTIBLE**

Las aeronaves se proyectarán y construirán de modo que sea posible prevenir la purga voluntaria del combustible líquido en la atmósfera, que, al parar los motores, se haya acumulado en los colectores de inyección del carburante, a raíz de las actividades normales de utilización, tanto en vuelo como en tierra.

---





## PARTE III. CERTIFICACIÓN RESPECTO A LAS EMISIONES

### CAPÍTULO 1. ADMINISTRACIÓN

1.1 Lo previsto en 1.2 a 1.4 se aplicará a todos los motores correspondientes a las clasificaciones definidas en los Capítulos 2 y 3 en materia de certificación respecto a las emisiones, cuando esos motores se utilicen en aeronaves dedicadas a la navegación aérea internacional.

1.2 La autoridad encargada de la certificación concederá los certificados respecto a las emisiones a base de pruebas satisfactorias de que el motor en cuestión satisface requisitos por lo menos tan rigurosos como los prescritos en el Volumen II del presente Anexo. El cumplimiento de los niveles de emisión de los Capítulos 2 y 3 se demostrará por el procedimiento descrito en el Apéndice 6.

*Nota.— El documento que atestigüe la certificación respecto a las emisiones puede consistir en un certificado independiente de las emisiones o en una declaración apropiada contenida en algún documento aprobado por la autoridad encargada de la certificación.*

1.3 Todo documento que atestigüe la certificación respecto a las emisiones de cada motor contendrá, por lo menos, los datos siguientes, aplicables al tipo de motor de que se trate:

- a) la designación oficial de la autoridad encargada de la certificación;
- b) la designación del tipo y modelo de la fabricación;
- c) la declaración de toda modificación adicional incorporada con el fin de complementar las formalidades aplicables a la certificación respecto a las emisiones;
- d) el empuje nominal;
- e) la relación de presión de referencia;
- f) una declaración de cumplimiento de los requisitos atinentes al índice de humo;
- g) una declaración de cumplimiento de los requisitos atinentes a los contaminantes gaseosos.

1.4 Los Estados contratantes reconocerán como válido todo certificado respecto a las emisiones otorgado por la autoridad encargada de la certificación de otro Estado contratante, siempre que las formalidades, a base de las cuales se haya otorgado el certificado, sean, por lo menos, tan rigurosas como las previstas en el Volumen II de este Anexo.

1.5 Los Estados contratantes reconocerán como válidas las exenciones de motores respecto del requisito de interrupción de la producción de motores que otorgue la autoridad encargada de la certificación de otro Estado contratante, siempre y cuando las exenciones se concedan de conformidad con el proceso y los criterios definidos en el *Manual técnico-ambiental* (Doc 9501), Volumen II —*Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves*.



## **CAPÍTULO 2. MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFÁN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES EXCLUSIVAMENTE A VELOCIDADES SUBSÓNICAS**

### **2.1 Generalidades**

#### 2.1.1 Campo de aplicación

2.1.1.1 Lo previsto en el presente capítulo se aplicará a todos los motores turborreactores y turbofán, como se especifica en 2.2 y 2.3, proyectados para propulsar aeronaves exclusivamente a velocidades subsónicas, salvo cuando la autoridad encargada de la certificación exima:

- a) determinados tipos de motores y las versiones derivadas de éstos respecto a los cuales se haya expedido el certificado de prototipo, o se haya cumplido con algún otro procedimiento prescrito equivalente, antes del 1 de enero de 1965; y
- b) un número limitado de motores durante un período de tiempo determinado después de las fechas de aplicación especificadas en 2.2 y 2.3 para la fabricación del motor individual.

2.1.1.2 En tales casos, la autoridad de certificación expedirá el documento de exención, se marcará “EXENTO NUEVO” o “EXENTO DE REPUESTO” en las placas de identificación de los motores y el otorgamiento de la exención se anotará en el registro permanente del motor. Las exenciones se notificarán por medio de un número de serie del motor y se proporcionarán por conducto de un registro público oficial.

2.1.1.3 Las disposiciones de este capítulo se aplicarán también a los motores diseñados para aplicaciones en las que de otro modo se habrían utilizado motores turborreactores y turbofán.

*Nota.— Al considerar las exenciones, la autoridad encargada de la certificación debería tener debidamente en cuenta el número probable de unidades de esos motores que se fabricarán y su repercusión en el medio ambiente. En caso de que se conceda la exención, la autoridad encargada de la certificación debería considerar la conveniencia de imponer un plazo límite en cuanto a la fabricación de esos motores para instalarlos en aeronaves nuevas. En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves figura orientación adicional sobre la expedición de exenciones.*

#### 2.1.2 Emisiones de que se trata

Para certificar los motores de aviación se verificarán las emisiones siguientes:

Humo

Emisiones gaseosas

Hidrocarburos sin quemar (HC);

Monóxido de carbono (CO); y

Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

### 2.1.3 Unidades de medida

2.1.3.1 Las emisiones de humo se medirán y notificarán a base del índice del humo (SN).

2.1.3.2 Se medirá y notificará en gramos la masa ( $D_p$ ) de los contaminantes gaseosos HC, CO, NO<sub>x</sub> emitidos durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones, definido en 2.1.4.2 y 2.1.4.3.

### 2.1.4 Condiciones de referencia

#### 2.1.4.1 Condiciones atmosféricas

Las condiciones atmosféricas de referencia se basarán en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, pero la humedad absoluta de referencia será de 0,00634 kg de agua/kg de aire seco.

#### 2.1.4.2 Reglaje del empuje

El motor se ensayará a un número suficiente de reglajes del empuje, a fin de determinar las características de las emisiones de gases y de humo del motor, de modo que pueda determinarse la masa de la emisión y los índices de humo a los siguientes porcentajes específicos del empuje nominal, según lo disponga la autoridad encargada de la certificación.

#### *Modalidad de utilización LTO    Reglaje del empuje*

Despegue	100% $F_{oo}$
Ascenso	85% $F_{oo}$
Aproximación	30% $F_{oo}$
Rodaje/marcha lenta en tierra	7% $F_{oo}$

#### 2.1.4.3 Ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones

El ciclo de referencia LTO, para calcular y notificar las emisiones gaseosas, se representará mediante los tiempos siguientes en cada modalidad de utilización.

<i>Fase</i>	<i>Tiempo en la modalidad de utilización (minutos)</i>
Despegue	0,7
Ascenso	2,2
Aproximación	4,0
Rodaje/marcha lenta en tierra	26,0

#### 2.1.4.4 Especificaciones en cuanto al combustible

El combustible utilizado para efectuar las pruebas se ajustará a las especificaciones del Apéndice 4.

### 2.1.5 Condiciones de las pruebas

2.1.5.1 Las pruebas se realizarán con el motor en banco de pruebas.

2.1.5.2 El motor será representativo de la configuración certificada (véase el Apéndice 6); no se simularán las purgas ni las cargas producidas por los accesorios que no sean necesarias para el funcionamiento básico del motor.

2.1.5.3 Cuando las condiciones de las pruebas difieran de las condiciones atmosféricas de referencia previstas en 2.1.4.1, los resultados de las pruebas de emisiones gaseosas se corregirán respecto a las condiciones atmosféricas de referencia mediante los métodos indicados en el Apéndice 3.

## 2.2 Humo

### 2.2.1 Campo de aplicación

Las disposiciones de 2.2.2 se aplicarán a los motores fabricados a partir del 1 de enero de 1983.

### 2.2.2 Índice de humo reglamentario

El índice de humo en cualquiera de los reglajes del empuje de las cuatro modalidades de utilización LTO, cuando se mida y calcule conforme a los procedimientos del Apéndice 2, o un procedimiento equivalente acordado por la autoridad encargada de la certificación, y se convierta a un nivel característico mediante los procedimientos del Apéndice 6, no podrá superar el nivel calculado a base de la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de humo reglamentario} = 83,6 (F_{oo})^{-0,274}$$

o un valor de 50, el que sea menor

*Nota.— En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves figura orientación sobre la definición y utilización de procedimientos equivalentes.*

## 2.3 Emisiones gaseosas

### 2.3.1 Campo de aplicación

Las disposiciones de 2.3.2 se aplicarán a los motores fabricados a partir del 1 de enero de 1986 cuyo empuje nominal sea mayor de 26,7 kN y con respecto a los óxidos de nitrógeno, según se especifica más adelante.

### 2.3.2 Niveles reglamentarios

Los niveles de las emisiones gaseosas, cuando se midan y calculen con arreglo a los procedimientos del Apéndice 3 y se conviertan a los niveles característicos mediante los procedimientos del Apéndice 6, o procedimientos equivalentes acordados por la autoridad encargada de la certificación, no podrán superar los niveles reglamentarios calculados a base de las fórmulas siguientes:

$$\text{Hidrocarburos (HC): } D_p/F_{oo} = 19,6$$

$$\text{Monóxido de carbono (CO): } D_p/F_{oo} = 118$$

Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):

- a) para los motores de tipo o de modelo cuya fecha de fabricación para el primer modelo individual construido era anterior al 1 de enero de 1996 y para los que la fecha de fabricación del motor en cuestión era anterior al 1 de enero de 2000.

$$D_p/F_{oo} = 40 + 2\pi_{oo}$$

- b) para los motores de tipo o de modelo cuya fecha de fabricación para el primer modelo individual construido era el 1 de enero de 1996 o después de esa fecha, o para los que la fecha de fabricación en cuestión era el 1 de enero de 2000 o después de esa fecha.

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

- c) para los motores de un tipo o modelo cuya fecha de fabricación del primer modelo individual era el 1 de enero de 2004 o después de esa fecha:

- 1) para los motores con una relación de presión de 30 o menos:

- i) para motores con un empuje nominal máximo de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 19 + 1,6\pi_{oo}$$

- ii) para motores con un empuje nominal máximo de más de 26,7 kN pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 37,572 + 1,6\pi_{oo} - 0,2087F_{oo}$$

- 2) para motores con relación de presión de más de 30 pero menos de 62,5:

- i) para motores con empuje nominal máximo de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 7 + 2,0\pi_{oo}$$

- ii) para motores con empuje nominal máximo de más de 26,7 kN pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 42,71 + 1,4286\pi_{oo} - 0,4013F_{oo} + 0,00642\pi_{oo} \times F_{oo}$$

- 3) para motores con relación de presión de 62,5 o más:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

- d) para los motores de un tipo o modelo cuya fecha de fabricación del primer modelo individual era el 1 de enero de 2008 o después de esa fecha, o para los cuales la fecha de fabricación del motor en cuestión es el 1 de enero de 2013 o después de esa fecha:

- 1) para los motores con una relación de presión de 30 o menos:

- i) para motores con un empuje nominal máximo de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 16,72 + 1,4080\pi_{oo}$$

- ii) para motores con un empuje nominal máximo de más de 26,7 kN pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 38,5486 + 1,6823\pi_{oo} - 0,2453F_{oo} - 0,00308\pi_{oo}F_{oo}$$

2) para motores con relación de presión de más de 30 pero menos de 82,6:

i) para motores con empuje nominal máximo de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = -1,04 + 2,0\pi_{oo}$$

ii) para motores con empuje nominal máximo de más de 26,7 kN pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 46,1600 + 1,4286\pi_{oo} - 0,5303F_{oo} + 0,00642\pi_{oo}F_{oo}$$

3) para motores con relación de presión de 82,6 o más:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

e) para los motores de un tipo o modelo cuya fecha de fabricación del primer modelo individual es el 1 de enero de 2014 o después de esa fecha:

1) para los motores con una relación de presión de 30 o menos:

i) para motores con un empuje nominal máximo de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 7,88 + 1,4080\pi_{oo}$$

ii) para motores con un empuje nominal máximo de más de 26,7 kN pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 40,052 + 1,5681\pi_{oo} - 0,3615F_{oo} - 0,0018\pi_{oo}F_{oo}$$

2) para motores con relación de presión de más de 30 pero menos de 104,7:

i) para motores con empuje nominal máximo de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = -9,88 + 2,0\pi_{oo}$$

ii) para motores con empuje nominal máximo de más de 26,7 kN pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_{oo} = 41,9435 + 1,505\pi_{oo} - 0,5823F_{oo} + 0,005562\pi_{oo}F_{oo}$$

3) para motores con relación de presión de 104,7 o más:

$$D_p/F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}$$

*Nota.— En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves figura orientación sobre la definición y utilización de procedimientos equivalentes.*

## 2.4 Datos necesarios

*Nota.— La información requerida se divide en tres grupos, a saber: 1) información general para conocer las características del motor, el combustible utilizado y el método de análisis de los datos; 2) los datos obtenidos de las pruebas del motor; y 3) los resultados dimanantes de los datos de las pruebas.*

### 2.4.1 Información general

Se proporcionará la información siguiente respecto a cada tipo de motor de cuyas emisiones se solicite la certificación:

- a) designación del motor;
- b) empuje nominal (en kilonewtons);
- c) relación de presión de referencia;
- d) referencia de la especificación del combustible;
- e) relación hidrógeno/carbono del combustible;
- f) métodos de obtención de los datos;
- g) método para hacer correcciones respecto a las condiciones ambientales; y
- h) método de análisis de los datos.

### 2.4.2 Información sobre las pruebas

Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información siguiente, correspondiente a cada uno de los reglajes del empuje prescritos en 2.1.4.2. Esta información se proporcionará una vez corregida con respecto a las condiciones ambientales de referencia, cuando corresponda;

- a) flujo de combustible (kilogramos/segundos);
- b) índice de emisión (gramos/kilogramo) de cada contaminante gaseoso; y
- c) índice de humo medido.

### 2.4.3 Información deducida

2.4.3.1 Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información deducida siguiente:

- a) la tasa de emisión, es decir, el índice de emisión multiplicado por el flujo de combustible (gramos/segundo) de cada contaminante gaseoso;
- b) la emisión bruta total de cada contaminante gaseoso medido durante el ciclo LTO (gramos);
- c) los valores  $Dp/F_{oo}$  de cada contaminante gaseoso (gramos/ kilonewton); y
- d) el índice de humo máximo.

2.4.3.2 Sobre cada tipo de motor que se desee certificar en cuanto a las emisiones, se proporcionará el índice de humo característico y los niveles de emisión de los contaminantes gaseosos.



# CAPÍTULO 3. MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFÁN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES A VELOCIDADES SUPERSÓNICAS

## 3.1 Generalidades

### 3.1.1 Campo de aplicación

Las disposiciones del presente capítulo se aplicarán a todos los motores turborreactores y turbofán proyectados para propulsar aeronaves a velocidades supersónicas, fabricados a partir del 18 de febrero de 1982.

### 3.1.2 Emisiones de que se trata

Para certificar los motores de aviación se verificarán las emisiones siguientes:

Humo

Emisiones gaseosas

Hidrocarburos sin quemar (HC);

Monóxido de carbono (CO); y

Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).

### 3.1.3 Unidades de medida

3.1.3.1 Las emisiones de humo se medirán y notificarán a base del índice de humo (SN).

3.1.3.2 Se medirá y notificará en gramos la masa ( $D_p$ ) de los contaminantes gaseosos HC, CO,  $\text{NO}_x$  emitidos durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones, definido en 3.1.5.2 y 3.1.5.3.

### 3.1.4 Nomenclatura

En todo este capítulo, cuando se trate de motores sin postcombustión se utilizará la expresión  $F_{oo}$  en vez de  $F_{oo}^*$ . Cuando se trate del rodaje/marcha lenta, siempre se utilizará  $F_{oo}$ .

### 3.1.5 Condiciones de referencia

#### 3.1.5.1 Condiciones atmosféricas

Las condiciones atmosféricas de referencia se basarán en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, pero la humedad absoluta de referencia será de 0,00634 kg de agua/kg de aire seco.

### 3.1.5.2 *Reglaje del empuje*

El motor se ensayará a un número suficiente de reglajes de régimen, a fin de determinar las características de las emisiones de gases y de humo del motor, de modo que pueda determinarse la masa de la emisión y los índices de humo corregidos a las condiciones ambientales de referencia, a los siguientes porcentajes específicos del régimen nominal, según lo disponga la autoridad encargada de la certificación.

<i>Modalidad de utilización</i>	<i>Reglaje del empuje</i>
Despegue	100% $F_{oo}^*$
Ascenso	65% $F_{oo}^*$
Descenso	15% $F_{oo}^*$
Aproximación	34% $F_{oo}^*$
Rodaje/marcha lenta en tierra	5.8% $F_{oo}$

### 3.1.5.3 *Ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones*

El ciclo de referencia LTO, para calcular las emisiones gaseosas, se representará mediante los tiempos siguientes en cada modalidad de utilización.

<i>Fase</i>	<i>Tiempo en la modalidad de utilización (minutos)</i>
Despegue	1,2
Ascenso	2,0
Descenso	1,2
Aproximación	2,3
Rodaje/marcha lenta en tierra	26,0

### 3.1.5.4 *Especificaciones en cuanto al combustible*

El combustible utilizado para efectuar las pruebas se ajustará a las especificaciones del Apéndice 4, y no contendrá aditivos mezclados con objeto de suprimir el humo (tales como los compuestos orgánico-metálicos).

## 3.1.6 Condiciones de las pruebas

3.1.6.1 Las pruebas se realizarán con el motor en banco de pruebas.

3.1.6.2 El motor será representativo de la configuración certificada (véase el Apéndice 6); no se simularán las purgas ni las cargas producidas por los accesorios que no sean necesarios para el funcionamiento básico del motor.

3.1.6.3 Las mediciones hechas para determinar los niveles de emisión correspondientes a los empujes prescritos en 3.1.5.2, se efectuarán, cuando sea el caso, empleando el postcombustor al nivel utilizado normalmente.

3.1.7 Cuando las condiciones de las pruebas difieran de las de referencia previstas en 3.1.5, los resultados se corregirán respecto a las condiciones de referencia mediante los métodos indicados en el Apéndice 5.

## 3.2 Humo

### 3.2.1 Índice de humo reglamentario

El índice de humo en cualquier reglaje del empuje, cuando se mida y calcule conforme a los procedimientos del Apéndice 2 y se convierta a un nivel característico mediante los procedimientos del Apéndice 6, no podrá superar el nivel calculado a base de la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Índice de humo reglamentario} = & 83,6 (F^*_{oo})^{0,274} \\ & \text{o un valor de 50,} \\ & \text{el que sea menor} \end{aligned}$$

*Nota.— La autoridad encargada de la certificación puede asimismo aceptar los valores obtenidos empleando la post-combustión, siempre que la validez de esos datos quede debidamente demostrada.*

## 3.3 Emisiones gaseosas

### 3.3.1 Niveles reglamentarios

Los niveles de las emisiones gaseosas, cuando se midan y calculen con arreglo a los procedimientos del Apéndice 3 o Apéndice 5, según corresponda, y se conviertan a los niveles característicos mediante los procedimientos del Apéndice 6, no podrán superar los niveles reglamentarios calculados a base de las fórmulas siguientes:

$$\text{Hidrocarburos (HC): } D_p/F^*_{oo} = 140(0,92)^{\pi_{oo}}$$

$$\text{Monóxido de carbono (CO): } D_p/F^*_{oo} = 4\,550(\pi_{oo})^{-1,03}$$

$$\text{Óxidos de nitrógeno (NO}_x\text{): } D_p/F^*_{oo} = 36 + 2,42\pi_{oo}$$

*Nota.— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por el coeficiente correspondiente al número de motores aprobados, según se indica en el Apéndice 6.*

## 3.4 Datos necesarios

*Nota.— La información requerida se divide en tres grupos, a saber: 1) información general para conocer las características del motor, el combustible utilizado y el método de análisis de los datos; 2) los datos obtenidos de las pruebas del motor; y 3) los resultados dimanantes de los datos de las pruebas.*

3.4.1 Se proporcionará la información siguiente respecto a cada tipo de motor de cuyas emisiones se solicite la certificación:

- a) designación del motor;
- b) empuje nominal (en kilonewtons);

- c) empuje nominal con postcombustión, si corresponde (en kilonewtons);
- d) relación de presión de referencia;
- e) referencia de la especificación del combustible;
- f) relación hidrógeno/carbono del combustible;
- g) métodos de obtención de los datos;
- h) método para hacer correcciones respecto a las condiciones ambientales; y
- i) método de análisis de los datos.

### 3.4.2 Información sobre las pruebas

Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información siguiente, correspondiente a cada uno de los reglajes del empuje prescritos en 3.1.5.2. Esta información se proporcionará una vez corregida con respecto a las condiciones ambientales de referencia, cuando corresponda;

- a) flujo de combustible (kilogramos/segundos);
- b) índice de emisión (gramos/kilogramo) de cada contaminante gaseoso;
- c) porcentaje del empuje aportado por la postcombustión; y
- d) índice de humo medido.

### 3.4.3 Información deducida

3.4.3.1 Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se proporcionará la información siguiente:

- a) la tasa de emisión, es decir, el índice de emisión multiplicado por el flujo de combustible (gramos/segundo) de cada contaminante;
- b) la emisión bruta total de cada contaminante gaseoso medido durante el ciclo LTO (gramos);
- c) los valores  $D_p/F_{oo}^*$  de cada contaminante gaseoso (gramos/ kilonewton); y
- d) el índice de humo máximo.

3.4.3.2 Sobre cada tipo de motor que se desee certificar en cuanto a las emisiones, se proporcionará el índice de humo característico y los niveles de emisión de los contaminantes gaseosos.

*Nota.— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la media de los valores de todos los motores probados, medida y corregida con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones ambientales de referencia, dividida por el coeficiente correspondiente al número de motores probados, según se indica en el Apéndice 6.*

# APÉNDICE 1. MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE PRESIÓN DE REFERENCIA

## 1. GENERALIDADES

1.1 La relación de presión se determinará a base de un motor representativo.

1.2 La relación de presión de referencia se deducirá correlacionando la relación de presión medida con el empuje del motor corregido a la presión ambiente del día tipo, y leyendo en el gráfico dicha correlación al empuje nominal de despegue correspondiente al día tipo.

## 2. MEDICIÓN

2.1 La presión total se medirá en el último plano de descarga del compresor y en la parte delantera del primer compresor, colocando por lo menos cuatro sondas, de modo que sea posible dividir el área del flujo del aire en cuatro sectores idénticos y tomando la media de los cuatro valores obtenidos.

*Nota.— La presión total de descarga del compresor puede obtenerse a base de la presión total o estática, medida en una posición lo más próxima posible al plano de descarga del compresor. Sin embargo, la autoridad encargada de la certificación podrá autorizar otros medios que permitan calcular la presión total de descarga del compresor, en el caso de que el motor esté proyectado de manera tal que no sea práctico, para hacer las pruebas de certificación de las emisiones, recurrir a las sondas antes referidas.*

2.2 Al hacer las pruebas para la certificación de tipo, se determinarán los factores de correlación necesarios utilizando por lo menos un solo motor y a base de las pruebas y análisis de todo componente asociado al motor.

2.3 De todos modos, los procedimientos a seguir contarán previamente con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.



## APÉNDICE 2. EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO

### 1. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

*Nota.— Los procedimientos aquí indicados conciernen a la adquisición de muestras representativas del escape y a su introducción y análisis en el dispositivo medidor de las emisiones.*

1.1 Sólo se permitirán procedimientos equivalentes a los contenidos en este apéndice previa solicitud dirigida a la autoridad encargada de la certificación, y después de que ésta los haya aprobado.

1.2 Las expresiones y símbolos siguientes utilizados en este Apéndice tienen el sentido que se les asigna a continuación:

**SN.** Índice de humo. Término adimensional que cuantifica el nivel de las emisiones de humo, guiándose por la mancha resultante en un filtro por la masa de referencia de la muestra de gases de escape, y graduados en una escala de 0 a 100 (véase 3 de este Apéndice).

**SN'** Índice de humo obtenido de una sola muestra de humo, que no ha de ser forzosamente del tamaño de la de referencia, definido en 3 de este Apéndice.

**Tamaño de la muestra.** Muestra seleccionada del escape, la magnitud de cuya masa (expresada en kilogramos por metro cuadrado del área manchada del filtro) corresponde a la gama prescrita en 2.5.3 h) de este Apéndice y que, al atravesar el material filtrante produce un cambio de reflectancia que da el valor del parámetro SN'.

**Tamaño de la muestra de referencia.** La masa de la muestra, de 16,2 kg/m<sup>2</sup> del área manchada del filtro, que en caso de hacerla atravesar el material filtrante produce un cambio de reflectancia que da el valor del parámetro SN'.

**Volumen de la muestra.** El volumen de la muestra seleccionada (expresado en metros cúbicos), cuya masa equivalente, calculada según se indica en 3 de este Apéndice, corresponde a la definición de tamaño de la muestra.

**W.** Masa en kilogramos de una sola muestra de humo del gas de escape, calculada a base de la medición del volumen, presión y temperatura de la muestra (véase 3 de este Apéndice).

### 2. MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO

#### 2.1 Sonda para recoger las muestras de las emisiones de humo

- a) El material de la sonda que está en contacto con la muestra de las emisiones de escape será acero inoxidable o cualquier otro material no reactivo.
- b) Si se emplea una sonda con orificios de muestreo múltiples, todos los orificios tendrán el mismo diámetro. La sonda tendrá una forma tal que, por lo menos, el 80% de la caída de presión a través del conjunto de la sonda se registre en los orificios.
- c) El número mínimo de lugares muestreados será de 12.

- d) El plano de muestreo estará lo más próximo al plano de salida de la tobera de escape del motor que permita la performance del motor, pero, en todo caso, a una distancia del plano de salida que no rebase medio diámetro de la tobera.
- e) El solicitante demostrará a la autoridad encargada de la certificación, mediante desplazamientos pormenorizados de la sonda, que el sistema de sondeo que se propone utilizar y su posición proporcionan una muestra representativa respecto a cada reglaje del empuje prescrito.

## 2.2 Conducto de muestreo de las emisiones de humo

2.2.1 La muestra pasará de la sonda al colector de muestras, utilizando para ello un conducto de un diámetro interno de 4,0 a 8,5 mm, a base de la ruta más corta posible, que, en ningún caso, excederá de 25 m. La temperatura del conducto se mantendrá entre 60°C y 175°C, con una estabilidad de  $\pm 15^\circ\text{C}$ , excepto en cuanto a la distancia necesaria para enfriar el gas, de la temperatura de escape del motor a la de control del conducto.

2.2.2 Los conductos de muestreo serán lo más “rectos” posible. Los radios de toda curvatura necesaria serán más de 10 veces superiores al diámetro interno de los conductos. Éstos deberán ser de algún material que evite la acumulación de cuerpos extraños o electricidad estática.

*Nota.— Satisfacen esos requisitos el acero inoxidable o el politetrafluoroetileno (PTFE) con partículas de carbono y conexión a tierra.*

## 2.3 Dispositivos para analizar el humo

*Nota.— El método aquí descrito se basa en la medición de la reducción de la reflectancia de un filtro manchado por determinada masa de flujo del escape de muestra.*

La disposición de los diversos componentes que integran el dispositivo para conseguir las muestras necesarias del filtro manchado, tendrá las características indicadas en forma esquemática en la Figura A2-1. Podrá instalarse una derivación optativa sobre el medidor de volumen para facilitar la lectura. Los principales elementos del sistema deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- a) *medición del volumen de la muestra:* se trata de un medidor de volumen de desplazamiento positivo, húmedo o seco, que se utilizará para medir el volumen de la muestra, con una precisión de  $\pm 2\%$ . También deberán medirse la presión y la temperatura a la entrada de la muestra al medidor, con una precisión de 0,2% y  $\pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente;
- b) *medición del flujo de la muestra:* el flujo de la muestra se mantendrá a un valor de  $14 \pm 0,5$  L/min y el instrumento medidor del gasto (flujómetro), utilizado con ese fin, deberá poder medir con una precisión de  $\pm 5\%$ ;
- c) *filtro y portafiltro:* el portafiltro, que será de material anticorrosivo, deberá ajustarse a la configuración del canal de flujo ilustrada en la Figura A2-1. El filtro estará confeccionado con el material conocido como Whatman Tipo núm. 4, u otro equivalente que autorice la autoridad encargada de la certificación;
- d) *válvulas:* se instalarán cuatro válvulas como se indica en la Figura A2-1:
  - 1) la válvula A deberá poder accionarse con rapidez, permitir el paso total del flujo, desviar la muestra de entrada a través del filtro de medición o de los circuitos de derivación, y cerrar el circuito;

*Nota.— Si es necesario, la válvula A puede consistir en dos válvulas acopladas, que permitan conseguir la función deseada.*



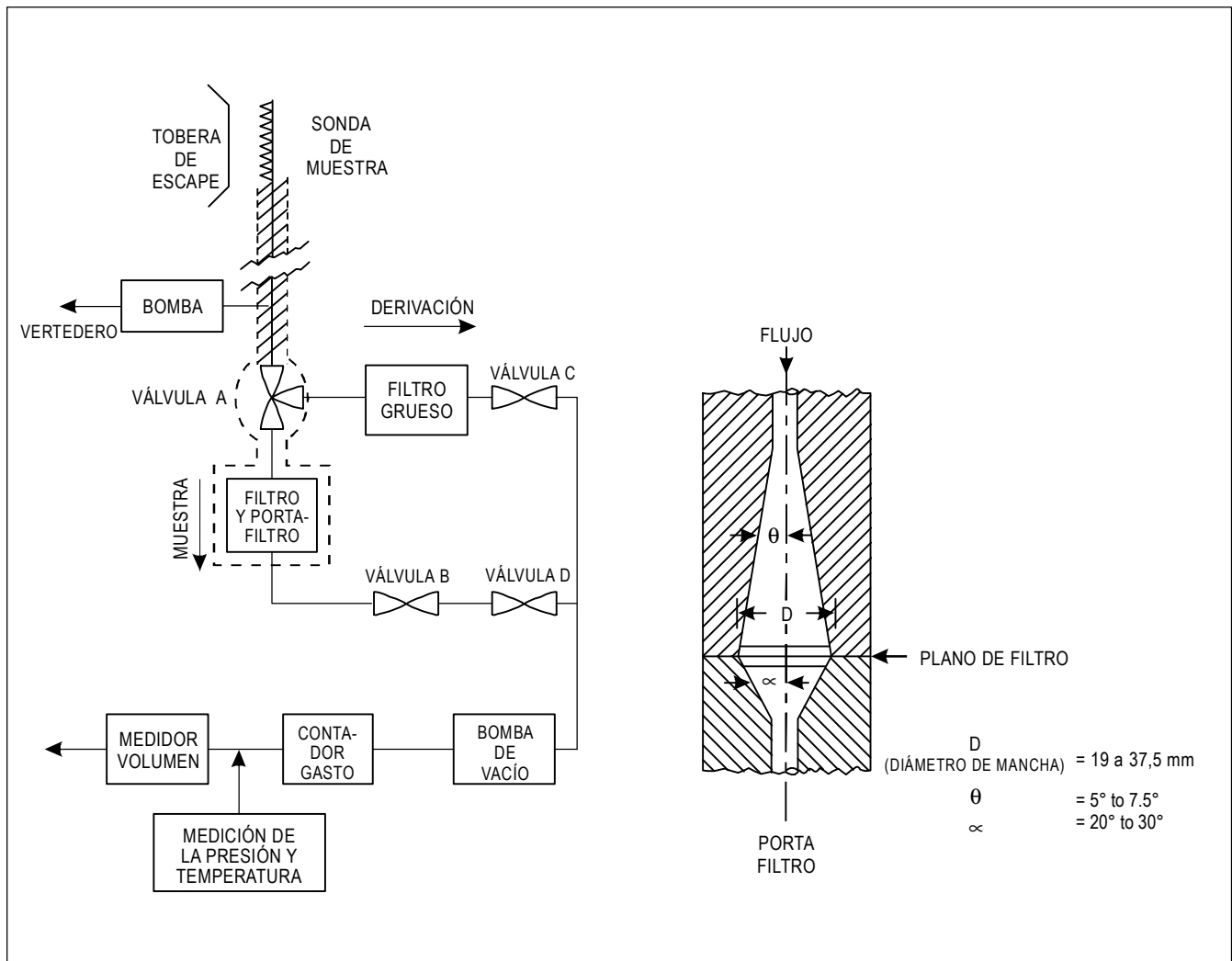


Figura A2-1. Sistema para analizar el humo

2) las válvulas B y C deberán ser reguladoras, ya que se utilizan para regular el gasto;

3) la válvula D será una válvula de cierre, que permita aislar el portafiltro;

todas estas válvulas deberán ser de material anticorrosivo;

e) *bomba de vacío*: esta bomba, a gasto nulo, deberá poder producir un vacío de  $-75\text{kPa}$  en relación con la presión atmosférica; al gasto máximo, el régimen no deberá ser inferior a 28 L/min, a la temperatura y presión normales;

f) *regulación de la temperatura*: el conducto de muestreo interno del analizador que llega hasta el portafiltro se mantendrá a una temperatura comprendida entre los  $60^\circ\text{C}$  y  $175^\circ\text{C}$ , con una estabilidad de  $\pm 15^\circ\text{C}$ ;

*Nota.*— Se trata de evitar que se forme condensación de agua antes de llegar al portafiltro y dentro de él.

- g) si se desea que el flujo de muestra sea mayor a través de la sonda que a través del portafiltro, podrá instalarse un bifurcador de flujo optativo entre la sonda y la válvula A (Figura A2-1), para descargar el flujo excedente. El conducto de vaciado estará tan próximo como sea posible del orificio de salida de la sonda y no afectará la capacidad del sistema de muestreo para mantener la caída de presión de 80% que se requiere en el montaje de la sonda. El flujo de vaciado también podrá desviarse hacia el analizador de CO<sub>2</sub> o a un sistema de análisis completo de las emisiones;
- h) si se utiliza el bifurcador de flujo, se efectuará un ensayo para demostrar que el bifurcador de flujo no cambia el nivel de humo que pasa a través del portafiltro. Esto podrá efectuarse invirtiendo los conductos de salida del bifurcador de flujo y demostrando que, dentro de la precisión del método, el nivel de humo no varía;
- i) *pérdidas*: el subsistema deberá satisfacer la prueba siguiente:
  - 1) colocar un filtro limpio en el portafiltro;
  - 2) cerrar la válvula A y abrir por completo las válvulas B, C y D;
  - 3) accionar la bomba de vacío durante 1 minuto, hasta lograr el equilibrio necesario;
  - 4) seguir accionando la bomba y medir el gasto con el contador, durante 5 minutos. Dicho volumen no deberá exceder de 5 L (con referencia a la temperatura y presión normales). En el caso de que no se consiga esto, el dispositivo no deberá utilizarse;
- j) *reflectómetro*: la medición de la densidad de reflexión difusa del material del filtro se realizará con un instrumento que se ajuste a la norma ISO núm. 5.4<sup>1</sup> de la Organización Internacional de Normalización. El diámetro del haz luminoso del reflectómetro, proyectado sobre el filtro de papel, no excederá de D/2, ni será superior a D/10, siendo D el diámetro de la mancha que aparece en el filtro, indicado en la Figura A2-1.

## 2.4 Características del combustible

El combustible deberá ajustarse a las especificaciones del Apéndice 4.

## 2.5 Procedimientos aplicables a la medición del humo

### 2.5.1 Ensayo de motores

2.5.1.1 El motor se hará funcionar en un banco de pruebas estático, apropiado y debidamente equipado para hacer ensayos de performance de gran precisión.

2.5.1.2 Los ensayos se harán a reglajes del empuje aprobados por la autoridad encargada de la certificación. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

---

1. Norma ISO núm. 5.4 de la Organización Internacional de Normalización titulada “Fotografía — Mediciones de la densidad — Parte 4: Condiciones geométricas para la densidad de reflexión”.

### 2.5.2 Verificaciones de las pérdidas y la limpieza

No se hará ninguna medición antes de que se hayan calentado y estabilizado los conductos de transferencia de la muestra y las válvulas correspondientes. Antes de proceder a una serie de ensayos, se verificará el sistema de la siguiente manera, para cerciorarse de que no hay pérdidas y de que está limpio:

- a) *Verificación de las pérdidas:* apartar la sonda y cerrar el extremo del conducto de muestreo; proceder a la verificación de la pérdida, según se indica en 2.3 h), con la diferencia de que la válvula A debe quedar abierta y en posición de “derivación”, la válvula D debe quedar cerrada y el límite de pérdida es de 2 L. Colocar de nuevo la sonda en su lugar y abrir el conducto de interconexión;
- b) *Verificación de la limpieza:*
  - 1) abrir las válvulas B, C y D;
  - 2) accionar la bomba de vacío y alternativamente poner la válvula A en la posición “derivación” y “muestra”, para purgar enteramente el sistema con aire limpio durante cinco minutos;
  - 3) poner la válvula A en “derivación”;
  - 4) cerrar la válvula D y colocar un filtro limpio en el portafiltro. Abrir la válvula D;
  - 5) poner la válvula A en “muestra” y ponerla de nuevo en “derivación” después que hayan pasado por el filtro 50 kg de aire por metro cuadrado de filtro;
  - 6) medir la mancha resultante SN', tal cual se describe en el párrafo 3 de este Apéndice;
  - 7) si SN' excede de 3, será necesario limpiar el sistema (o rectificarlo) hasta conseguir un valor inferior a 3.

El sistema no deberá utilizarse a menos que se haya cumplido con los requisitos en cuanto a las pérdidas y a su limpieza.

### 2.5.3 Medición del humo

La medición del humo se hará independientemente de otras mediciones, a menos que los valores del humo, objeto de medición, sean considerablemente más bajos que los valores limitadores o bien que se pueda demostrar la validez de los valores del humo procedentes de mediciones simultáneas del humo y de las emisiones gaseosas, en cuyo caso la medición del humo puede hacerse simultáneamente con la de las emisiones gaseosas. En todos los casos deberán respetarse estrictamente los radios de curvatura de los conductos de muestreo, detallados en 2.2.2. Se determinará el subsistema de análisis de humos, que deberá ajustarse a las especificaciones que figuran en 2.3. Haciendo referencia a la Figura A2-1, a continuación se indican las operaciones principales que habrá que hacer para lograr las muestras constituidas por los filtros manchados:

- a) cuando el motor funciona con la sonda en posición de ensayo, no se colocará la válvula A en posición de cerrada, ya que podrían acumularse cuerpos extraños en los conductos;
- b) poner la válvula A en la posición de “derivación”, cerrar la válvula D y colocar un filtro limpio en el portafiltro. Seguir recogiendo la muestra de escape en la posición de derivación, por lo menos, durante 5 minutos, mientras el motor casi está, o está ya, en la modalidad de utilización deseada, regulando la válvula C de modo que el gasto sea de  $14 \pm 0,5$  L/min;
- c) abrir la válvula D y regular la válvula A en la posición de “muestra”, y utilizar la válvula B para ajustar de nuevo el gasto al valor fijado en b);

- d) regular la válvula A en la posición “derivación”, cerrar la válvula D y colocar material filtrante en el portafiltro;
- e) cuando se haya estabilizado el motor, permitir que el flujo de muestra circule durante un minuto, con las válvulas en las posiciones relativas indicadas en d);
- f) abrir la válvula D, colocar la válvula A en la posición “muestra”, regular de nuevo el gasto (si es necesario) y, antes de poner de nuevo la válvula A en la posición de “derivación” y de cerrar la válvula D, permitir que circule el volumen elegido de la muestra [véase h)];
- g) sacar el filtro manchado para hacer el correspondiente análisis y poner otro limpio en el portafiltro;
- h) los volúmenes de las muestras seleccionadas estarán comprendidos en la gama de 12 a 21 kg del gas de escape por metro cuadrado de filtro, y deberán incluir muestras — por exceso y por defecto — de 16,2 kg o exactamente de esa cantidad, del gas de escape por metro cuadrado de filtro. Para cada régimen de utilización del motor, deberá hacer un mínimo de tres muestras, y, siempre que sea necesario, habrá que repetir las operaciones indicadas en e) a g).

### 3. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE HUMO A BASE DE LOS DATOS MEDIDOS

Las muestras, a base de los filtros manchados, obtenidas según lo indicado en 2.5.3 precedente, deberán analizarse con un reflectómetro, según se indica en 2.3. El material utilizado como fondo deberá ser negro y tener un coeficiente de reflexión absoluto inferior al 3%. La indicación *RS* del coeficiente de reflexión absoluto de cada filtro manchado deberá utilizarse para calcular la reducción de este coeficiente, según la fórmula siguiente:

$$SN' = 100 (1 - RS/RW)$$

en la que  $R_w$  representa el coeficiente de reflexión absoluto del filtro limpio.

Las masas de las diversas muestras deberán calcularse a base de la siguiente fórmula:

$$W = 0,348 PV/T \times 10^{-2}(\text{kg})$$

en la que  $P$  y  $T$  representan, respectivamente, la presión de la muestra en pascales y la temperatura en grados Kelvin, medidos inmediatamente contra la dirección del flujo del medidor de volumen.  $V$  representa el volumen medido de la muestra, en metros cúbicos.

Respecto a cada régimen del motor, en el caso de que el tamaño de las muestras fluctúe por debajo y por arriba del valor de referencia, los diversos valores de  $SN'$  y  $W$  deberán trazarse como  $SN'$  en función de  $\log(W/A)$ , y  $A$  representa la superficie de la mancha del filtro ( $m^2$ ). Utilizando una recta que se ajuste a los mínimos cuadrados, deberá calcularse el valor de  $SN'$  cuando  $W/A = 16,2 \text{ kg}/m^2$ , y notificarse como el índice de humo ( $SN$ ) de esa modalidad de utilización del motor. Cuando únicamente se utilice el muestreo al valor del tamaño de referencia, el  $SN$  notificado se basará en la media aritmética de cada uno de los diversos valores de  $SN'$ .

### 4. NOTIFICACIÓN DE LOS DATOS A LAS AUTORIDAD ENCARGADA DE LA CERTIFICACIÓN

Los datos obtenidos se notificarán a la autoridad encargada de la certificación. Además, para cada ensayo, se facilitarán los datos que siguen:

- a) temperatura de la muestra;

- b) presión de la muestra;
  - c) volumen efectivo de la muestra en las condiciones en las cuales se ha efectuado el muestreo;
  - d) gasto efectivo de la muestra en las condiciones en las cuales se ha hecho el muestreo; y
  - e) corroboración de las verificaciones realizadas en cuanto a las pérdidas y al aspecto limpieza (*véase 2.5.2*).
-



## APÉNDICE 3. INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS

### 1. INTRODUCCIÓN

*Nota.— Los procedimientos aquí indicados conciernen a la adquisición de muestras representativas de los gases de escape y a su entrada y análisis en el dispositivo medidor de las emisiones. Este procedimiento no es aplicable a los motores que utilizan postquemador. Los métodos propuestos representan la práctica moderna más avanzada, conocida y aceptada.*

Sólo se permitirán procedimientos equivalentes a los contenidos en este apéndice previa solicitud dirigida a la autoridad encargada de la certificación, y después de que ésta los haya aprobado.

### 2. DEFINICIONES

En el presente apéndice, las expresiones que siguen a continuación tendrán los significados que se indican:

**Analizador infrarrojo sin dispersión.** Instrumento que, al absorber la energía infrarroja, mide selectivamente determinados componentes.

**Concentración.** La fracción volumétrica del componente deseado, en la mezcla de gas, expresada como porcentaje del volumen total o como partes por millón.

**Desviación cero.** La desviación, en relación con el tiempo, de la indicación del instrumento a partir del punto cero, cuando por el mismo pasa gas que no contiene el elemento que se desea medir.

**Detector de la ionización de la llama.** Un detector de la difusión del hidrógeno-aire de la llama, que produce una señal nominalmente proporcional al gasto de hidrocarburos que penetra en la llama por unidad de tiempo; generalmente, se supone que es proporcionalmente sensible al número de átomos de carbono que penetran en la llama.

**Estabilidad.** La similitud que pueden registrar las mediciones repetidas de una muestra invariable dada durante un período determinado.

**Gas cero.** El gas que hay que utilizar para determinar la posición cero de calibración del instrumento, es decir, el punto en el cual la reacción es nula.

**Gas de calibración.** Un gas de referencia de gran precisión, que hay que utilizar para alinear, ajustar y hacer la verificación periódica de los instrumentos.

**Gas de referencia.** Una mezcla de gases de composición especificada y conocida, utilizada como base para interpretar la reacción del instrumento, en función de la concentración del gas en presencia del cual reacciona el instrumento.

**Interferencia.** Toda reacción del instrumento debida a la presencia de elementos ajenos al gas (o vapor) que hay que medir.

**Partes por millón (ppm).** La concentración del volumen unitario de un gas por un millón de unidades de volumen de la mezcla de gases de la cual forma parte.

**Partes por millón de carbono (ppmC).** La fracción mol de hidrocarburo multiplicada por  $10^6$ , medida por referencia al metano. Así pues, 1 ppm de metano se indica como 1 ppmC. Para convertir la concentración de una ppm de cualquier hidrocarburo a una ppmC equivalente, multiplíquese la concentración ppm por el número de átomos de carbono por molécula de gas. Por ejemplo, 1 ppm de propano equivale a 3 ppmC de hidrocarburo; 1 ppm de hexano equivale a 6 ppmC de hidrocarburo.

**Precisión.** El grado de aproximación con que una medición se acerca al valor verdadero, medido independientemente.

**Relación aire/combustible.** El gasto de flujo de aire a través de la sección caliente del motor, dividido por el gasto de flujo del combustible que pasa al motor.

**Repetibilidad.** La precisión con que la medición de una muestra dada e invariable puede lograrse repetidas veces en breve plazo con el mismo resultado, sin que sea necesario calibrar de nuevo el instrumento.

**Resolución.** El cambio mínimo perceptible en una medición.

**Respuesta.** Toda variación de la señal indicadora del instrumento, que ocurre al variar la concentración de la muestra. También, la señal indicadora correspondiente a la concentración de una muestra dada.

**Ruido.** Toda variación aleatoria de la indicación del instrumento, que nada tiene que ver con las características de la muestra, en contacto con la cual reacciona el instrumento, y que puede distinguirse por sus características de desviación.

### 3. DATOS NECESARIOS

#### 3.1 Emisiones gaseosas

Se determinará la concentración de las siguientes emisiones:

- a) hidrocarburos (HC): el cálculo combinado de todos los compuestos de hidrocarburos presentes en el gas de escape;
- b) monóxido de carbono (CO);
- c) bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);

*Nota.— Aunque el CO<sub>2</sub> es una emisión de motor sujeta a reglamentación, se necesita su concentración para hacer cálculos y verificaciones.*

- d) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): el cálculo de la suma de óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>);
- e) óxido nítrico (NO).

#### 3.2 Otros datos

Con objeto de normalizar los datos de medición de las emisiones y cuantificar las características de prueba del motor, se suministrará la siguiente información adicional:

- temperatura en la boca de entrada;



- humedad en la boca de entrada;
- presión atmosférica;
- relación hidrógeno/carbono del combustible;
- otros parámetros necesarios del motor (por ejemplo, empuje, velocidad del rotor, temperaturas de la turbina y flujo de aire del generador de gas).

Estos datos se obtendrán por medición directa o por cálculo, según se indica en el Adjunto F del presente Apéndice.

#### 4. DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA

No se emplearán desecantes, secadoras, deshidratadoras ni equipo similar, para tratar la muestra de escape que vaya a parar a los instrumentos analizadores de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos. En el párrafo 5 se indican los requisitos para los diversos subsistemas componentes, pero la lista que sigue enumera algunas de las salvedades y variaciones:

- a) se supone que cada uno de los diversos subsistemas tiene un regulador de flujo y los dispositivos de acondicionamiento y medición necesarios;
- b) la necesidad de contar con una bomba de vaciado y/o de muestra caliente dependerá de las posibilidades que haya que transferir la muestra en tiempo útil y del gasto de flujo que requiera el subsistema de análisis. Esto, a su vez, dependerá de la presión con la cual el escape desplace la muestra de gas y de las posibles pérdidas que haya en los conductos. Se considera que estas bombas serán habitualmente necesarias en ciertas condiciones de funcionamiento del motor; y
- c) la posición de la bomba caliente, en relación con los subsistemas de análisis de los gases, puede variar, según sea necesario. (Por ejemplo, algunos analizadores de HC tienen bombas calientes, por lo que pueden considerarse apropiadas para su utilización más arriba que la bomba caliente del sistema.)

*Nota.— En la Figura A3-1 se ilustra el sistema de muestreo y análisis del escape de gases, que representa las exigencias básicas, típicas, para verificar la calidad de las emisiones.*

#### 5. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

*Nota.— A continuación se describen, a grandes rasgos, las especificaciones de los elementos principales del sistema de medición de las emisiones de gases de los motores. Cuando se necesiten más detalles, consúltense los Adjuntos A, B y C de este Apéndice.*

##### 5.1 Dispositivo para medir las muestras

###### 5.1.1 Sonda de muestreo

- a) El material de la sonda que está en contacto con la muestra de las emisiones de escape será de acero inoxidable o cualquier otro material no reactivo.
- b) Si se emplea una sonda con orificios de muestreo múltiples, todos los orificios tendrán el mismo diámetro. La sonda tendrá una forma tal que, por lo menos, el 80% de la caída de presión, a través del conjunto de la sonda se registre en los orificios.
- c) El número mínimo de lugares muestreados será de 12.

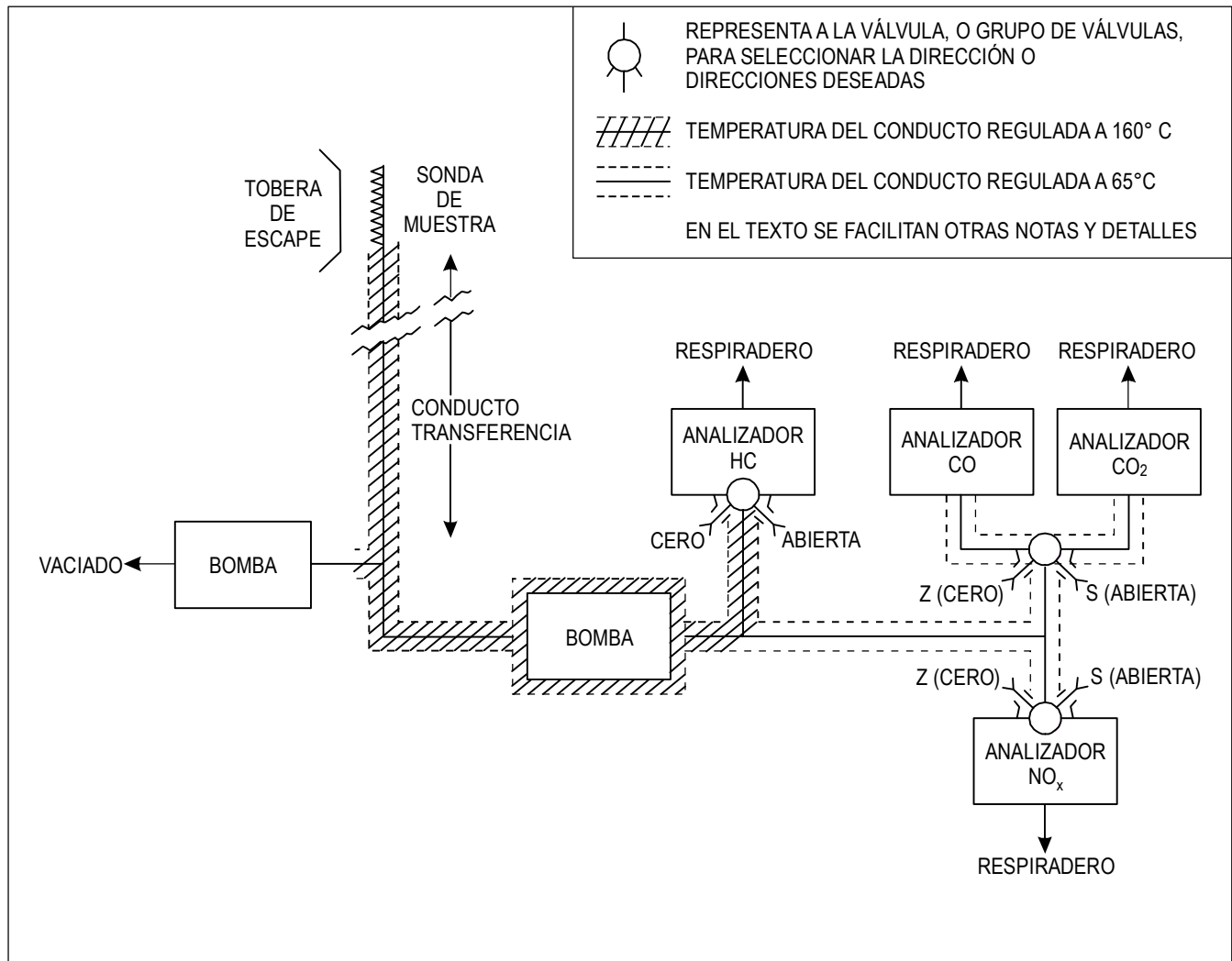


Figura A3-1. Diagrama del sistema de muestreo y análisis

- d) El plano de muestreo estará lo más próximo al plano de salida de la tobera de escape del motor que permita la performance del motor, pero, en todo caso, a una distancia del plano de salida que no rebase medio diámetro de la tobera.
- e) El solicitante demostrará a la autoridad encargada de la certificación, mediante desplazamientos pormenorizados de la sonda, que el sistema de sondeo que se propone utilizar y su posición proporcionan una muestra representativa respecto a cada reglaje del empuje prescrito.

### 5.1.2 Conductos de muestreo

La muestra se transferirá de la sonda a los analizadores por medio de un conducto de un diámetro interno de 4,0 a 8,5 mm, utilizando para ello el camino más corto posible y a base de un gasto tal que permita trasladarla en menos de 10 segundos. El conducto tendrá una temperatura constante de 160°C ±15°C (con una estabilidad de ±10°C), excepto: a) en cuanto a la distancia necesaria para enfriar el gas desde la temperatura de escape del motor hasta la temperatura de control del conducto, y

b) en cuanto al ramal que alimenta las muestras a los analizadores de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. El conducto tendrá una temperatura de 65°C ± 15°C (con una estabilidad de ±10°C). Cuando el muestreo se haga para medir los elementos de HC, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, el conducto será de acero inoxidable o de politetrafluoretileno (PTFE) relleno de carbón y con conexión a tierra.

### 5.2 Analizador HC

La medición del total de los hidrocarburos contenidos en la muestra se hará mediante un analizador equipado con un detector de ionización de la llama (FID) con calefacción, entre los electrodos del cual pase una corriente de ionización proporcional a la masa de hidrocarburos que penetre en la llama de hidrógeno. Es de suponer que el analizador en cuestión tendrá dispositivos apropiados para regular la temperatura y el gasto de la muestra, para desviar ésta, el combustible y los gases diluentes, y para hacer la verificación efectiva de las calibraciones S (abierta) y Z (cero).

*Nota.— En el Adjunto A de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

### 5.3 Analizadores CO y CO<sub>2</sub>

Para medir esos elementos, habrá que utilizar analizadores de infrarrojo sin dispersión, que deberán ser del tipo que funciona a base de la absorción diferencial de energía en células paralelas de gas de referencia y de gas de muestra; la célula o grupo de ellas, respecto a cada uno de esos elementos gaseosos, se sensibilizarán debidamente. Este subsistema de análisis incluirá todas las funciones necesarias para regular y manipular el flujo de la muestra, y el de los gases Z y S de referencia. La temperatura será la apropiada para la base de medición utilizada.

*Nota.— En el Adjunto B de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

### 5.4 Analizador de NO<sub>x</sub>

La medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno (NO) se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual la medición de la intensidad de la radiación emitida durante el tiempo de reacción de los NO contenidos en la muestra, más O<sub>3</sub>, constituye la medición de la concentración de los NO. El elemento NO<sub>2</sub> se convertirá en NO, en un convertidor idóneo, antes de hacer la medición. El sistema de medición de los NO<sub>x</sub> resultantes deberá tener todos los regulares necesarios de flujo, temperatura y demás, y lo necesario para poder hacer la calibración acostumbrada de Z y S y permitir la verificación del rendimiento del convertidor.

*Nota.— En el Adjunto C de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

## 6. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR AL HACER EL ENSAYO GENERAL

### 6.1 Funcionamiento del motor

6.1.1 El motor se hará funcionar en un banco de pruebas estático apropiado y debidamente equipado para hacer ensayos de performance de gran precisión.

6.1.2 Los ensayos de las emisiones se harán a los reglajes del empuje prescritos por la encargada de la certificación. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

## 6.2 Calibración básica de instrumentos

*Nota.— El objetivo general de esta calibración es confirmar la estabilidad y linealidad.*

6.2.1 En el momento de hacer el ensayo, el solicitante deberá demostrar a la autoridad encargada de la certificación que la calibración del sistema analítico es correcta.

6.2.2 En cuanto al analizador de hidrocarburos, la calibración incluirá la verificación de que tanto el detector de oxígeno como las respuestas diferenciales de los hidrocarburos se ajustan a los límites previstos, según se indica en el Adjunto A de este apéndice. También se verificará la eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub>/NO, cerciorándose de que satisface lo previsto en el Adjunto C de este apéndice.

6.2.3 El procedimiento para verificar el comportamiento de cada analizador será el que se indica a continuación (utilizando los gases de calibración y de ensayo indicados en el Adjunto D de este apéndice):

- a) introdúzcase el gas cero (gas de referencia Z) y hágase el reglaje a cero del instrumento, anotando la posición correspondiente;
- b) por cada gama que haya de utilizarse en servicio, introdúzcase el gas de calibración del 90% (nominal) de la concentración correspondiente a la deflexión máxima de la escala (FSD); ajústese debidamente el regulador del instrumento y anótese su posición;
- c) introdúzcase aproximadamente el 30, 60 y 90% de las concentraciones FSD de la gama y anótese las indicaciones del analizador;
- d) trácese la recta de mínimos cuadrados correspondiente a los puntos 0, 30, 60 y 90% de concentración. En cuanto al analizador de CO y/o CO<sub>2</sub>, utilizado en su configuración básica, sin linealización de salida, se ajustará la curva de mínimos cuadrados de la fórmula matemática apropiada valiéndose de puntos de calibración adicionales, si se estima necesario. Si algún punto se aparta en más de 2% del valor de la escala ( $\pm 1$  ppm\*, lo que sea mayor), habrá que trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.

## 6.3 Utilización

6.3.1 No se hará ninguna medición hasta que no se hayan calentado y estabilizado todos los instrumentos y los conductos de transferencia de la muestra y hasta que no se hayan efectuado las verificaciones siguientes:

- a) verificación de las pérdidas: antes de efectuar una serie de ensayos, se verificará que el sistema no tenga pérdidas. Para hacerlo, aislar la sonda y los analizadores, conectar y accionar una bomba de vacío de actuación equivalente a la que se utilizó para el sistema de medición de humo a fin de comprobar que las pérdidas del gasto del sistema sean inferiores a 0,4 L/min, a la temperatura y presión normales;
- b) verificación de la limpieza: aislar el sistema de muestreo de gases de la sonda y conectar el extremo del conducto de muestra a una fuente de gas cero. Calentar el sistema hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento que se necesita para hacer las mediciones de hidrocarburos. Activar la bomba de flujo de la muestra y ajustar el flujo al que se utilizó durante el ensayo de las emisiones del motor. Registrar la lectura del analizador de hidrocarburos. La lectura no excederá de 1% del nivel de emisiones del motor en marcha lenta o 1 ppm (ambos expresados en el equivalente de metano), de estos valores el mayor.

---

\* Salvo en el caso del analizador del CO<sub>2</sub>, para el cual el valor será  $\pm 100$  ppm.

*Nota 1.— Al hacer funcionar el motor, es conveniente purgar los conductos de muestreo mientras la sonda esté en el interior del escape de gases del motor, pero sin medir las emisiones, con objeto de cerciorarse de que la contaminación no sea excesiva.*

*Nota 2.— También es conveniente controlar la calidad del aire de entrada al principio y al final del ensayo y por lo menos una vez por hora durante el mismo. Si se considera que los niveles son importantes, deberían tenerse en cuenta.*

6.3.2 Para hacer la medición con el motor en funcionamiento, se adoptará el siguiente procedimiento:

- a) aplíquese el gas cero apropiado y háganse los ajustes necesarios del instrumento;
- b) aplíquese el gas de calibración apropiado, al 90% nominal de concentración FSD con respecto a las gamas que haya que utilizar, y ajústese y anótese debidamente la posición del regulador de ganancia;
- c) una vez que el motor se haya estabilizado al reglaje del empuje requerido, debe seguir funcionando. Obsérvense las concentraciones de los contaminantes hasta obtener una indicación estabilizada, que habrá que anotar;
- d) una vez terminado el ensayo y también a intervalos máximos de una hora, durante los ensayos, verifíquense de nuevo el punto cero y los de calibración. Si uno de ellos ha variado más del  $\pm 2\%$  de la escala FSD, habrá que repetir el ensayo hasta que el instrumento haya recuperado su posición indicada, dentro de los márgenes de la especificación de referencia.

## 6.4 Verificación del equilibrio de carbono

Respecto a cada ensayo, habrá que hacer una verificación al efecto de que la relación aire/combustible, estimada a base de la concentración total de carbono de la muestra integrada, excluyendo el humo, concuerde con el cálculo basado en la relación aire/combustible del motor con un margen de  $\pm 15\%$  para la modalidad rodaje/marcha lenta en tierra y con un margen del 10% para todas las demás modalidades (véase 7.1.2).

## 7. CÁLCULOS

### 7.1 Emisiones gaseosas

#### 7.1.1 Generalidades

Las mediciones analíticas realizadas representarán las concentraciones de las diversas misiones gaseosas que se detecten en sus analizadores respectivos para un intervalo de temperaturas ( $T_B$ ) medidas en la boca de entrada de la cámara de combustión a presión y que abarquen las cuatro modalidades de utilización LTO. Por medio de los cálculos de 7.1.2, o de los métodos alternativos que se definen en el Adjunto E de este apéndice, se establecerán los índices de emisión (EI) para cada emisión gaseosa. Para considerar las desviaciones respecto de las condiciones atmosféricas de referencia, deberían aplicarse las correcciones de 7.1.3. Adviértase que estas correcciones también pueden aplicarse para considerar las desviaciones del motor sometido a prueba respecto del motor normal de referencia, cuando resulte conveniente [véase el Apéndice 6, 1 f)]. Al usar la temperatura ( $T_B$ ) medida en la boca de entrada de la cámara de combustión a presión como parámetro de correlación, se establecerán los índices de emisión y el flujo de combustible correspondientes a la operación en las cuatro modalidades de utilización LTO para un motor normal de referencia en condiciones diurnas de referencia aplicando los procedimientos de 7.2.

## 7.1.2 Parámetros básicos

$$EI_p \text{ (índice de emisión del elemento } p) = \frac{\text{masa de } p \text{ producida en g}}{\text{masa de combustible utilizado en kg}}$$

$$EI(\text{CO}) = \left( \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$EI(\text{HC}) = \left( \frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$EI(\text{NO}_x) \text{ (como NO}_2) = \left( \frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$\text{Relación aire/combustible} = (P_0/m) \left( \frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right)$$

donde

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{\text{vol}} - [TZ/2])}$$

y

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

$M_{\text{AIR}}$  masa molecular del aire seco = 28,966 g o bien, cuando corresponda = (32  $R$  + 28,156 4  $S$  + 44,011  $T$ ) g

$M_{\text{HC}}$  masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como  $\text{CH}_4$  = 16,043 g

$M_{\text{CO}}$  masa molecular del  $\text{CO}$  = 28,011 g

$M_{\text{NO}_2}$  masa molecular del  $\text{NO}_2$  = 46,008 g

$M_{\text{C}}$  masa atómica del carbono = 12,011 g

$M_{\text{H}}$  masa atómica del hidrógeno = 1,008 g

$R$  concentración de  $\text{O}_2$  en aire seco, por volumen = normalmente 0,209 5

$S$  concentración de  $\text{N}_2$  + gases raros en aire seco, por volumen = normalmente 0,790 2

$T$  concentración de  $\text{CO}_2$  en aire seco, por volumen = normalmente 0,000 3

- [HC] concentración húmeda media de hidrocarburos del escape, por volumen, expresada como carbono
- [CO] concentración húmeda media de CO, por volumen
- [CO<sub>2</sub>] concentración húmeda media de CO<sub>2</sub> por volumen
- [NO<sub>x</sub>] concentración húmeda media de NO<sub>x</sub>, por volumen = [NO + NO<sub>2</sub>]
- [NO] concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, por volumen
- [NO<sub>2</sub>] concentración húmeda media de NO<sub>2</sub> en la muestra de escape, por volumen

$$= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$$

- [NO<sub>x</sub>]<sub>c</sub> concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, una vez pasado el convertidor de NO<sub>2</sub> a NO, por volumen
- η eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub> a NO
- h<sub>vol</sub> humedad del aire ambiente, volumen de agua/volumen de aire seco
- m número de átomos de C en una molécula característica de combustible
- n número de átomos de H en una molécula característica de combustible
- x número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburos del escape
- y número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburos del escape.

El valor de *n/m*, la relación entre el hidrógeno atómico y el carbono atómico del combustible utilizado, se evalúa analizando el tipo de combustible. La humedad del aire ambiente (*h<sub>vol</sub>*) se medirá en cada condición de utilización. A falta de pruebas en contrario de la caracterización (*x, y*) de los hidrocarburos del escape, se utilizarán los valores *x* = 1, *y* = 4. Si hay que utilizar mediciones del CO y del CO<sub>2</sub>, ya sea seco o semisecho, éstas se convertirán primero en las concentraciones húmedas equivalentes que figuran en el Adjunto E de este apéndice, donde figuran fórmulas para corregir las interferencias, cuando sea menester.

### 7.1.3 Corrección de los índices de emisión con respecto a las condiciones de referencia

Se harán las correcciones de los índices de emisión medidos, respecto a todos los contaminantes, en cada una de las modalidades pertinentes del motor para tener en cuenta las desviaciones de las condiciones reales de temperatura y presión del aire en la boca de entrada respecto a las condiciones atmosféricas de referencia (ISA al nivel del mar). Estas correcciones también pueden aplicarse para considerar las desviaciones del motor sometido a prueba respecto del motor normal de referencia, cuando resulte conveniente [véase el Apéndice 6, 1 f)]. El valor de referencia de la humedad será de 0,00634 kg de agua/kg de aire seco.

Así, pues, tendremos: EI corregido = *K* × EI medido,

donde la expresión generalizada de *K* es:

$$K = (P_{Bref}/P_B)^a \times (FAR_{ref}/FAR_B)^b \times \exp([T_{Bref} - T_B]/c) \times \exp(d[h_{masa} - 0.00634])$$

$P_B$	presión medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$T_B$	temperatura medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos
$FAR_B$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos
$h$	humedad del aire ambiente
$P_{ref}$	presión ISA al nivel del mar
$T_{ref}$	temperatura ISA al nivel del mar
$P_{Bref}$	presión en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos del motor probado (o del motor de referencia, si los datos se corrigen respecto a un motor de esta índole) correspondiente a la $T_B$ en condiciones ISA al nivel del mar.
$T_{Bref}$	temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar, del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia). Esta temperatura es la que corresponde a cada nivel de empuje especificado para cada modalidad de utilización.
$FAR_{ref}$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia).
$a, b, c, d$	constantes específicas que pueden variar según el contaminante y el tipo de motor.

Preferiblemente, los parámetros de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos se medirán, pero también pueden calcularse a partir de las condiciones ambientales, mediante fórmulas apropiadas.

7.1.4 Si se utiliza la técnica recomendada en 7.2 de ajuste de la curva para relacionar los índices de emisión con la temperatura de la boca de entrada de la cámara de combustión a presión, se elimina, de hecho, el término  $\exp((T_{Bref} - T_B)/c)$  de la ecuación generalizada y, en la mayoría de los casos, el término  $(FAR_{ref}/FAR_B)$  puede considerarse igual a la unidad. En cuanto a los índices de las emisiones de CO y HC, muchos laboratorios de ensayo han determinado que la humedad está suficientemente cerca de la unidad como para eliminarla de la expresión y que el exponente del término  $(P_{Bref}/P_B)$  también se acerca a la unidad.

Así pues,

EI(CO) corregido = EI derivado de  $(P_B/P_{Bref})$ . EI(CO) en función de la curva de  $T_B$

EI(HC) corregido = EI derivado de  $P_B/P_{Bref}$ . EI(HC) en función de la curva de  $T_B$

EI(NO<sub>x</sub>) corregido = EI derivado de EI(NO<sub>x</sub>)  $(P_{Bref}/P_B)^{0,5 \exp(19 [h_{masa} - 0,00634])}$  en función de la curva de  $T_B$

Si no se obtiene una correlación satisfactoria con este método recomendado para corrección del índice de emisiones de CO y HC, podrá utilizarse otro método con los parámetros que se derivan de los ensayos de componentes.

Cualquier otro método utilizado para corregir los índices de emisión del CO, los HC y los NO<sub>x</sub> debe contar con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.



## 7.2 Funciones del parámetro regulador ( $D_p$ , $F_{00}$ , $\pi$ )

### 7.2.1 Definiciones

$D_p$	La masa de todo contaminante gaseoso emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones.
$F_{00}$	Empuje nominal (véase la Parte I, Capítulo 1, Definiciones).
$F_n$	Empuje en la modalidad “n” de utilización LTO (en kN)
$W_f$	Gasto del flujo de la masa del combustible del motor normal de referencia en condiciones ISA al nivel del mar (en kg/s).
$W_{fn}$	Gasto del flujo de la masa del combustible del motor normal de referencia en condiciones ISA al nivel del mar en la modalidad “n” de utilización LTO.
$\pi$	La relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar.

7.2.2 Los índices de emisión ( $EI_n$ ) de cada contaminante, corregidos respecto de las condiciones atmosféricas y, si es preciso, respecto del motor normal de referencia [o sea, los  $EI_n$  (corregidos)], se obtendrán para cada modalidad de utilización LTO. Se requerirán tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Se determinarán las relaciones siguientes para condiciones atmosféricas de referencia y para cada emisión gaseosa:

- entre  $EI$  (corregidos) y  $T_B$ ; y
- entre  $W_f$  y  $T_B$ ; y
- entre  $F_n$  y  $T_B$ ;

*Nota 1.— Véanse los ejemplos ilustrados en la Figura A3-2 a), b) y c).*

*Nota 2.— Las relaciones b) y c) pueden establecerse directamente a partir de datos de prueba de motores o derivarse de un modelo de eficiencia de motores validado.*

Un motor de referencia se define como aquél que está suficientemente configurado respecto de la norma de producción para el tipo de motor de que se trate y que posee características de operación y eficiencia perfectamente representativas.

El fabricante también suministrará a la autoridad encargada de la certificación todos los datos necesarios sobre la performance del motor, a fin de poder comprobar esas relaciones, y en las condiciones ambientales de la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar:

- el empuje nominal ( $F_{00}$ ); y
- la relación de presión del motor ( $\pi$ ) al empuje nominal máximo.

*Nota.— Véase el ejemplo ilustrado en la Figura A3-2 d).*

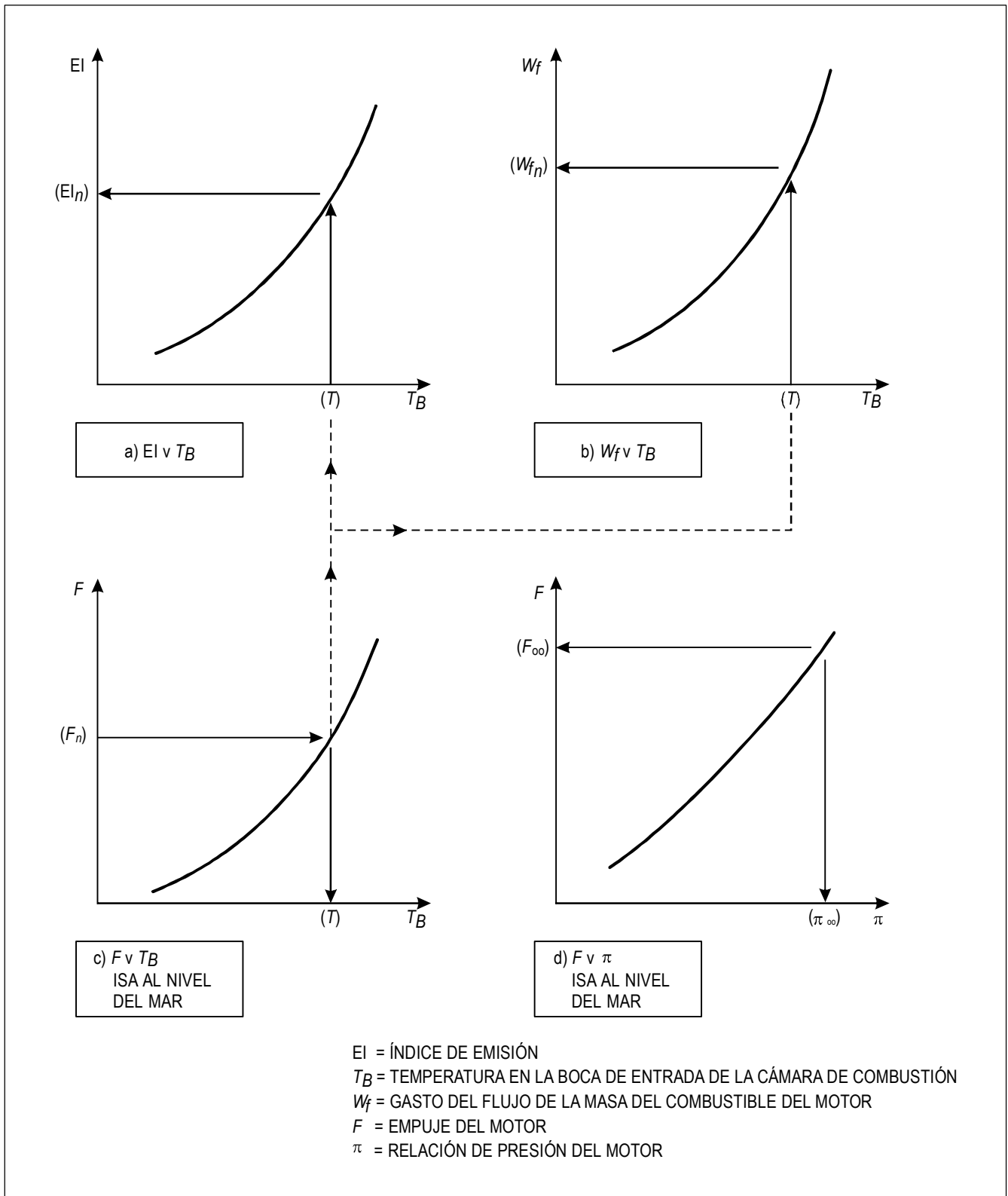


Figura A3-2. Procedimiento de cálculo

7.2.3 La estimación del EI (corregido) para cada emisión gaseosa en las cuatro modalidades de utilización LTO se ajustará al procedimiento general siguiente:

- a) determinar la temperatura ( $T_B$ ), [Figura A3-2 c)] en la boca de entrada de la cámara de combustión a presión para los valores  $F_n$  correspondientes a las cuatro modalidades de utilización LTO,  $n$ , en condiciones atmosféricas de referencia;
- b) a partir de la curva característica EI (corregido)/ $T_B$  [Figura A3-2 a)], determínese el valor EI $_n$  correspondiente a  $T_B$ ;
- c) a partir de la curva característica  $W_f/T_B$  [Figura A3-2 b)], determínese el valor  $W_{fn}$  correspondiente a  $T_B$ .
- d) obsérvense los valores máximos del régimen nominal de empuje y de la relación de presión en la atmósfera tipo internacional (ISA), que son  $F_{oo}$  y  $\pi$ , respectivamente [Figura A3-2 d)];
- e) calcúlese, para cada contaminante  $D_p = \Sigma (EI_n (W_{fn} (t)$ , en la que;

$t$  tiempo en la modalidad LTO (minutos)

$W_f$  gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min)

$\Sigma$  suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO.

7.2.4 Si bien la metodología descrita es la recomendada, la autoridad encargada de la certificación podrá aceptar procedimientos matemáticos equivalentes que se valgan de expresiones matemáticas para representar las curvas ilustradas, siempre que dichas expresiones se hayan derivado utilizando alguna técnica aceptada de adaptación de las curvas.

### 7.3 Excepciones en cuanto a los procedimientos propuestos

En aquellos casos en que la configuración del motor u otras condiciones atenuantes impidan la aplicación de este procedimiento, la autoridad encargada de la certificación podrá aprobar otro procedimiento, una vez que haya recibido pruebas técnicas convincentes de los resultados equivalentes obtenidos con el mismo.

## ADJUNTO A DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE HC

*Nota 1.— Como se describe en 5.2 del Apéndice 3, el elemento medidor de este analizador es el detector de ionización de la llama (FID), en el cual todo el flujo de la muestra, o una parte representativa de la misma, penetra en una llama de hidrógeno. A base de electrodos colocados en posiciones apropiadas, es posible hacer pasar una corriente ionizante en función de la proporción de los hidrocarburos que penetran en la llama. Es precisamente esta corriente la que, referida a un cero apropiado, se amplía y relaciona con la escala de la gama deseada del instrumento para conseguir la respuesta en función de la concentración de hidrocarburos expresada como equivalente de las ppmC.*

*Nota 2.— La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en el Adjunto D.*

### 1. GENERALIDADES

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

El instrumento que se utilice deberá poder mantener la temperatura del detector y de los componentes de manipulación de la muestra a determinada temperatura, comprendida en la gama de 155°C a 165°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Los puntos de especificación principales deberán ser los indicados a continuación, con tal que la reacción del detector se haya optimizado y el instrumento se haya estabilizado en general:

- a) *Gama total:* de 0 a 5 000 ppmC, en las gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* superior al 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 0,5 ppmC, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* superior al  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0,5$  ppmC, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* superior al  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1,0$  ppmC, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0,5$  ppmC, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0,5$  ppmC, lo que sea mayor.
- g) *Tiempo de respuesta:* no deberá exceder de diez segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- h) *Linealidad:* con propano mezclado con aire, la respuesta deberá ser lineal respecto a cada gama, con una tolerancia de  $\pm 2\%$  del máximo de la escala, de no ser así, será necesario rectificar la calibración.

## 2. EFECTOS SINÉRGICOS

*Nota — En su aplicación práctica, hay dos aspectos de la performance que pueden afectar la precisión de la medición, a saber:*

- a) *el efecto del oxígeno (ya que las distintas proporciones de oxígeno presentes en la muestra dan concentraciones indicadas diferentes de hidrocarburos, en cuanto se trata de concentraciones constantes verdaderas de HC); y*
- b) *la respuesta relativa de los hidrocarburos (por la cual la respuesta es diferente respecto a la misma concentración de hidrocarburos de la muestra expresada como equivalente en ppmC, que depende de la clase o combinación de clases de los compuestos de hidrocarburo).*

*La magnitud de los efectos señalados se determinará como se indica a continuación, y se limitará en consecuencia.*

*Respuesta del oxígeno:* mídase ésta con dos mezclas de propano, en una concentración aproximada de 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$ , como se indica a continuación:

- 1) propano en  $10 \pm 1\%$  de  $O_2$ , y el resto  $N_2$
- 2) propano en  $21 \pm 1\%$  de  $O_2$ , y el resto  $N_2$

Si  $R_1$  y  $R_2$  constituyen las respuestas normalizadas respectiva,  $(R_1 - R_2)$  no deberá alcanzar el 3% de  $R_1$ .

*Respuesta diferencial de los hidrocarburos:* mídase la respuesta con cuatro mezclas de hidrocarburos distintos mezclados con aire, en concentraciones de unas 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$  como sigue:

- a) propano en aire cero;
- b) propileno en aire cero;
- c) tolueno en aire cero;
- d) n-hexano en aire cero.

Si  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ ,  $R_d$  constituyen, respectivamente, las respuestas normalizadas (con respecto al propano), tendremos que:  $(R_a - R_b)$ ,  $(R_a - R_c)$  y  $(R_a - R_d)$  deberán ser, cada una de ellas, inferiores al 5% de  $R_a$ .

## 3. OPTIMIZACIÓN DE LA REACCIÓN Y ALINEACIÓN DEL DETECTOR

3.1 Habrá que seguir siempre las instrucciones facilitadas por el fabricante en cuanto a la determinación de los procedimientos, servicios auxiliares y suministros necesarios, y dejar que el instrumento se estabilice. Todas las posiciones de ajuste requerirán la verificación iterativa de la posición cero, y hacer la corrección necesaria, si es menester. Utilizando como ejemplo una muestra de unas 500 ppmC de propano mezclado con aire, se determinará la característica de la respuesta: primero, en cuanto a las variaciones del flujo de combustible y, luego, casi al flujo óptimo de combustible, para poder seleccionar el punto óptimo en cuanto a las variaciones de la dilución del flujo de aire. A continuación se evaluarán la respuesta de oxígeno y la del diferencial de los hidrocarburos, como se describió.

3.2 La linealidad de cada escala de gamas del analizador se verificará añadiendo propano a las muestras de aire, en concentraciones de un 30, 60 y 90% respecto al punto máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta de cada una de esas concentraciones, a partir de una recta de mínimos cuadrados (trazada a base de los puntos y el cero) no deberá discrepar más del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala. En caso contrario, será preciso trazar una curva de calibración para su empleo en servicio.

## ADJUNTO B DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES DE LOS ANALIZADORES DE CO Y CO<sub>2</sub>

*Nota 1.— En 5.3 del Apéndice 3, se resumen las características del subsistema de análisis que hay que utilizar para medir separadamente las concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> de la muestra de los gases de escape. Los instrumentos en cuestión se basan en el principio de la absorción sin dispersión de la radiación infrarroja en células paralelas del gas de referencia y del gas de muestra. Las gamas de sensibilidad se obtienen utilizando células de muestra superpuestas, o a base de las variaciones que se producen en los circuitos electrónicos, o ambas cosas a la vez. Los efectos debidos a los gases con bandas de absorción superpuestas, pueden reducirse mediante filtros que absorban el gas o con filtros ópticos, de preferencia estos últimos.*

*Nota 2.— La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en el Adjunto D.*

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerarán al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

Las características de actuación principales deberán ser:

### *Analizador de CO*

- a) *Gama total:* de 0 a 2 500 ppm, en gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 1 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos del  $\pm 1\%$  ppm del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, lo que sea mayor.
- g) *Interferencias:* habrá que limitarlas, con respecto a la concentración de CO indicada, como sigue:
  - 1) menos de 500 ppm por ciento de la concentración de etileno;
  - 2) menos de 2 ppm por ciento de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - 3) menos de 2 ppm por ciento de la concentración de vapor acuoso.\*

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

---

\* No es aplicable necesariamente cuando las mediciones se han hecho a base de muestras “secas”.

*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que esos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

#### Analizador de CO<sub>2</sub>

- a) *Gama total:* del 0 al 10% de gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 100 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, lo que sea mayor.
- g) Se verificará el efecto del oxígeno (O<sub>2</sub>) en la respuesta del analizador de CO<sub>2</sub>. Para un cambio de 0% O<sub>2</sub> a 21% de O<sub>2</sub> la respuesta de una concentración determinada de CO<sub>2</sub> no cambiará en más de 2% de la lectura. Si no se puede alcanzar este límite, se aplicará el factor de corrección apropiado.

*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que estos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

#### Analizadores de CO y de CO<sub>2</sub>

- a) *Tiempo de respuesta:* no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- b) *Temperatura de la muestra:* la modalidad preferida es analizar la muestra “mojada” (sin tratar). Esto exige que tanto la célula de muestra como todos los demás elementos que, en este subsistema, entren en contacto con ella, permanezcan a una temperatura mínima de 50°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Se admite la posibilidad de medir el CO y el CO<sub>2</sub> en seco (con deshidratador apropiado), en cuyo caso se pueden utilizar analizadores sin calentar y anular así los efectos limitadores del vapor de agua; luego, es necesario hacer la corrección en cuanto al vapor acuoso de entrada y al agua desprendida por la combustión.
- c) *Curvas de calibración:*
  - i) Se verificarán los analizadores con característica lineal de salida de señal en todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta en cualquiera de estos puntos a partir de una recta de mínimos cuadrados, ajustada a los puntos y la lectura cero, no excederá de  $\pm 2\%$  del valor máximo de la escala. Si excede de este valor, será preciso trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.
  - ii) En el caso de los analizadores con característica no lineal de salida de señal, y de los que no cumplan con los requisitos de linealidad mencionados, será preciso trazar curvas de calibración para todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. Se utilizarán otras mezclas, si es necesario, para definir adecuadamente la forma de la curva.

## ADJUNTO C DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE NO<sub>x</sub>

*Nota.— La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en el Adjunto D.*

1. Como se indica en 5.4 del Apéndice 3, la medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual se mide la intensidad de la radiación emitida por la reacción del NO con el O<sub>3</sub>. Este método no es sensible al NO<sub>2</sub> y, por esto, será necesario pasar la muestra por un convertidor, en el cual el NO<sub>2</sub> se convierte en NO, antes de hacer la medición del NO<sub>x</sub> total. Habrá que anotar tanto el NO original como el NO<sub>x</sub>. Así por diferenciación, se podrá medir la concentración del NO<sub>2</sub>.

2. El instrumento a utilizar deberá tener todos los componentes necesarios para regular el flujo, tales como reguladores, válvulas, flujómetro (aforador), etc. Los materiales que tengan que entrar en contacto con el gas de muestra se limitarán a aquellos que resistan la corrosión causada por los óxidos de nitrógeno, es decir, acero inoxidable, vidrio, etc. En todo momento, la temperatura de la muestra se mantendrá en aquellos valores compatibles con las presiones locales, que eviten la condensación de agua.

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerarán al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

3. Las especificaciones principales de actuación del instrumento utilizado a la temperatura ambiente y estable, dentro de un margen de tolerancia de 2°C, serán las siguientes:

- a) *Gama total:* de 0 a 2 500 ppm, en las gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 1 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* menos del ±1% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* menos del ±2% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos de ±1% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de ±1,0% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, lo que sea mayor, en un período de dos horas.
- g) *Interferencias:* la supresión, respecto a las muestras que consienten CO<sub>2</sub> y vapor acuoso, se limitará a lo siguiente:
  - menos del 0,5% de la indicación/porcentaje de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - menos del 0,1% de la indicación/porcentaje de la concentración del vapor de agua.



Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que esos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

h) *Tiempo de respuesta:* no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.

i) *Linealidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.

j) *Convertidor:* estará concebido y funcionará de manera que reduzca a NO el NO<sub>2</sub> presente en la muestra. El convertidor no alterará el NO contenido inicialmente en la muestra.

El rendimiento técnico del convertidor será, por lo menos, del 90%.

Este valor del rendimiento se empleará para corregir el valor del NO<sub>2</sub> de la muestra medida (es decir,  $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$ ) el que se habría obtenido si el rendimiento hubiese sido del 100%.

## ADJUNTO D DEL APÉNDICE 3. GASES DE CALIBRACIÓN Y DE ENSAYO

**Tabla de gases de calibración**

<i>Analizador</i>	<i>Gas</i>	<i>Precisión*</i>
HC	propano en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 0,05$ ppm**
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 100$ ppm**
CO	CO en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 2$ ppm**
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> en nitrógeno cero	$\pm 2\%$ o $\pm 1$ ppm**

\* Basada en el “intervalo” de confianza del 95%.

\*\* La que sea mayor.

Los gases que anteceden se requieren para llevar a cabo la calibración ordinaria de los analizadores durante el uso operacional normal.

**Tabla de gases de ensayo**

<i>Analizador</i>	<i>Gas</i>	<i>Precisión*</i>
HC	propano en 10 $\pm 1\%$ de O <sub>2</sub> , el resto nitrógeno cero	$\pm 1\%$
HC	propano en 21 $\pm 1\%$ de O <sub>2</sub> , el resto nitrógeno cero	$\pm 1\%$
HC	propileno en aire cero	$\pm 1\%$
HC	tolueno en aire cero	$\pm 1\%$
HC	n-hexano en aire cero	$\pm 1\%$
HC	propano en aire cero	$\pm 1\%$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en aire cero	$\pm 1\%$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en nitrógeno cero	$\pm 1\%$
CO	CO en aire cero	$\pm 1\%$
NO <sub>x</sub>	NO en nitrógeno cero	$\pm 1\%$

\* Basada en el “intervalo” de confianza del 95%.

Los gases que anteceden se requieren para llevar a cabo los ensayos de los Adjuntos A, B y C.

Los gases de calibración monóxido de carbono y bióxido de carbono podrán mezclarse separadamente o como mezclas de dos componentes. Pueden emplearse mezclas, compuestas de monóxido de carbono, bióxido de carbono y propano en aire seco, a condición de que pueda preservarse la estabilidad de la mezcla.

El gas cero especificado para el analizador del CO, CO<sub>2</sub> y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire “artificial” con un 20 a 22% de O<sub>2</sub> combinado con N<sub>2</sub>). Con respecto al analizador de NO<sub>x</sub>, el nitrógeno cero se considerará como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deberán limitarse, de modo que sean inferiores a las concentraciones siguientes:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO<sub>2</sub>
- 1 ppm NO<sub>x</sub>

El solicitante deberá cerciorarse de que los gases comerciales que haya recibido respondan efectivamente a esta especificación, o de que así los especifique el vendedor del producto.

## ADJUNTO E DEL APÉNDICE 3. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA

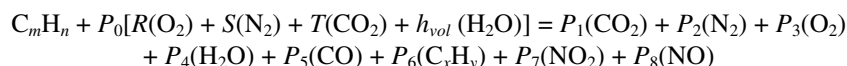
### 1. SÍMBOLOS

$AFR$	relación aire/combustible; la relación del gasto del flujo de la masa de aire seco con respecto al del combustible
$EI$	índice de emisión; $10^3 \times$ gasto del flujo de la masa del producto de las emisiones gaseosas en el escape, por unidad de gasto del flujo de la masa de combustible
$K$	relación de concentración medida húmeda con respecto a la medida en seco (pasado el deshidratador)
$L, L'$	coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del $CO_2$
$M, M'$	coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del $H_2O$
$M_{AIR}$	masa molecular de aire seco = 28,966 g, o bien, cuando corresponda, = $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ g
$M_{CO}$	masa molecular de $CO$ = 28,011 g
$M_{HC}$	masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como $CH_4$ = 16,043 g
$M_{NO_2}$	masa molecular del $NO_2$ = 46,008 g
$M_C$	masa atómica del carbono = 12,011 g
$M_H$	masa atómica del hidrógeno = 1,008 g
$P_1$	número de moles de $CO^2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_2$	número de moles de $N_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_3$	número de moles de $O_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_4$	número de moles de $H_2O$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_5$	número de moles de $CO$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_6$	número de moles de $C_xH_y$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_7$	número de moles de $NO_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_8$	número de moles de $NO$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_T$	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$

<i>R</i>	concentración de O <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = 0,209 5 (normalmente)
<i>S</i>	concentración de N <sub>2</sub> + gases raros en aire seco, por volumen = 0,790 2 (normalmente)
<i>T</i>	concentración de CO <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = 0,000 3 (normalmente)
<i>P<sub>o</sub></i>	número de moles de aire por mol de combustible en la mezcla inicial aire/combustible
<i>Z</i>	símbolo utilizado y definido en 3.4
[CO <sub>2</sub> ]	concentración media de CO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[CO]	concentración media de CO en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[HC]	concentración media de hidrocarburos en la muestra de emisiones del escape, volumen de C por volumen total
[NO]	concentración media de NO en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[NO <sub>2</sub> ]	concentración media de NO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[NO <sub>x</sub> ]	concentración media de NO y NO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[NO <sub>x</sub> ] <sub>c</sub>	concentración media de NO en la muestra de emisiones del escape una vez pasado el convertidor de NO <sub>2</sub> a NO, por volumen
[NO <sub>2</sub> ]	concentración media de $= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$
[ ] <sub>d</sub>	concentración media en la muestra de emisiones del escape, pasado el deshidratador frío, por volumen
[ ] <sub>m</sub>	medida de la concentración media indicada antes de aplicar la corrección del instrumento, por volumen
<i>h<sub>vol</sub></i>	humedad del aire ambiente, vol de agua/vol de aire seco
<i>h<sub>d</sub></i>	humedad de la muestra de emisiones del escape que salen del “secador”, o del “deshidratador frío”, vol de agua/vol de muestra seca
<i>m</i>	número de átomos de C en una molécula característica del combustible
<i>n</i>	número de átomos de H en una molécula característica del combustible
<i>x</i>	número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
<i>y</i>	número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
<i>η</i>	eficacia del convertidor de NO <sub>2</sub> a NO

## 2. BASE PARA CALCULAR LOS PARÁMETROS EI Y AFR

2.1 Se supone que el equilibrio entre la mezcla original de combustible y aire y el estado resultante de las emisiones del escape de las cuales se ha extraído la muestra puede representarse mediante la ecuación siguiente:



a partir de la cual, por definición, los parámetros requeridos se pueden expresar de la forma siguiente:

$$EI(CO) = P_5 \left( \frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left( \frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como el equivalente del metano}$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left( \frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del } NO_2$$

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 A base de la especificación o análisis del combustible se asignan los valores de la composición de hidrocarburos del combustible ( $m, n$ ). Si solamente se determina la relación  $n/m$ , se puede asignar el valor  $m = 12$ . Normalmente se supone que las fracciones de los moles de los elementos constitutivos del aire seco ( $R, S, T$ ) corresponden a los valores normales recomendados, si bien pueden asignarse otros valores, a reserva de la restricción  $R + S + T = 1$  y de la aprobación de la autoridad encargada de la certificación.

2.3 La humedad del aire ambiente,  $h_{vol}$ , es la medida en cada ensayo. Se recomienda que, de no existir prueba en contrario en cuanto a la caracterización de los hidrocarburos de las emisiones del escape ( $x, y$ ), se asignen valores de  $x = 1$  y de  $y = 4$ .

2.4 La determinación de las incógnitas restantes exige la solución de la serie siguiente de ecuaciones lineales simultáneas, en las que (1) a (4) dimanen de las relaciones fundamentales de conservación atómica, y (5) a (9) representan las relaciones de concentración del producto gaseoso de las emisiones.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2h_{vol}P_0 = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[\text{HC}] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[\text{NO}_x]_c P_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

Estas ecuaciones condicionales se aplican en el caso de que todas las concentraciones medidas sean verídicas, es decir, que no estén viciadas por interferencias o que requieran corrección para obtener la muestra seca. En la práctica, los efectos de la interferencia suelen manifestarse en grado considerable en las mediciones de CO, NO<sub>x</sub> y de NO, de modo que suele acudir a la medición del CO<sub>2</sub> y del CO, ya sea en seco o en condiciones semisecas. Las modificaciones necesarias de las ecuaciones pertinentes se exponen en 2.5 y 2.6.

2.5 Los efectos de interferencia obedecen sobre todo a la presencia de CO<sub>2</sub> y de H<sub>2</sub>O en la muestra, que pueden afectar a los analizadores del CO y del NO<sub>x</sub> de maneras básicamente distintas. El analizador de CO tiene tendencia a desplazarse al punto cero, en tanto que el analizador de NO<sub>x</sub> experimenta cambios de sensibilidad, representados como sigue:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$\text{y } [\text{NO}_x]_c = [\text{NO}_x]_{cm} (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

que se transforman en las ecuaciones siguientes de alternativa de (6), (8) y (9), en cuyo caso hay que corregir los efectos de interferencia.

$$[\text{CO}]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NO}_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 La opción de medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de CO a base de una muestra seca o parcialmente seca, o sea con la humedad de muestra reducida a *h<sub>d</sub>*, requiere el empleo de las ecuaciones condicionales modificadas siguientes:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

y

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Sin embargo, el analizador CO también puede estar viciado por la interferencia descrita en 2.5, de modo que la ecuación completa de alternativa, para la medición de la concentración del CO, pasa a ser:

$$[\text{CO}]_{md} (P_i - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

### 3. FÓRMULAS ANALÍTICAS

#### 3.1 Generalidades

Las ecuaciones (1) a (10) pueden reducirse para conseguir las fórmulas analíticas de los parámetros EI y AFR, que figuran en la Sección 7.1. Esta reducción constituye un proceso de eliminación progresiva de las raíces de *P*<sub>0</sub>, *P*<sub>1</sub> a *P*<sub>8</sub> *P*<sub>T</sub>, en el supuesto de que todas las mediciones de la concentración se hayan efectuado con la muestra “húmeda” y de que no requieran

correcciones debido a interferencias o por algún otro concepto. En la práctica, a menudo se prefiere efectuar las mediciones de la concentración “seca” o “semiseca” del CO<sub>2</sub> y del CO. También a menudo, es necesario hacer correcciones para compensar la interferencia. Las fórmulas que han de utilizarse en estas diversas circunstancias se dan en 3.2, 3.3 y 3.4 siguientes.

### 3.2 Ecuación para convertir las mediciones de la concentración seca a húmeda

Concentración húmeda =  $K \times$  concentración seca; es decir:

$$[ ] = K [ ]_d$$

La expresión siguiente de  $K$  se aplica cuando el CO y el CO<sub>2</sub> se determinan “en seco”.

$$K = \frac{\{4 + (n/m) T + ([n/m]T - 2h_{vol}) ([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x] - [n/m]) [HC]\} (1 + h_d)}{(2 + h) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m] T - 2h) (1 - [1 + h_d] [CO]_d)}$$

### 3.3 Correcciones debidas a interferencias

Es posible que las mediciones de CO y/o de NO<sub>x</sub> y de NO requieran correcciones para anular la interferencia ocasionada por las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de agua, en la muestra, antes de utilizarlas en estas ecuaciones analíticas. Tales correcciones pueden normalmente expresarse de las formas generales siguientes:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M \left( \frac{[H_2O]}{1 + h_d} \right)$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left( \frac{[H_2O]}{1 + h_d} \right)$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

$$\eta[NO_2] = ([NO_x]_{cm} - [NO]_m) (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

### 3.4 Ecuación para calcular el agua de la muestra

Concentración de agua en la muestra

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol} [P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC]$$

donde

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

y

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$



Cabe señalar que esta estimación es función de las lecturas de los distintos análisis de concentración, que acaso, a su vez, requieran corrección de la interferencia del agua. A fin de lograr mayor precisión, en esos casos se requieren reiterados análisis en los que se vuelve a calcular sucesivamente la concentración de agua hasta obtener la estabilidad requerida. Se soslaya esta dificultad utilizando el método alternativo de solución numérica (4).

#### **4. MÉTODO ALTERNATIVO — SOLUCIÓN NUMÉRICA**

4.1 Como alternativa de los procedimientos analíticos resumidos en 3, es posible obtener sin mayor dificultad los índices de emisión, la relación aire/combustible, las concentraciones corregidas de humedad, etc., mediante la solución numérica de las ecuaciones (1) a (10), respecto a cada serie de mediciones, con la ayuda de una computadora digital.

4.2 En la serie de ecuaciones de (1) a (10), las mediciones efectivas de la concentración quedan sustituidas por el empleo de cualesquiera de las ecuaciones de alternativa (5A), (6A), etc., aplicadas respecto a determinado sistema de medición, a fin de tener en cuenta las correcciones de interferencia y/o las mediciones de muestras en seco.

4.3 Existe amplia disponibilidad de combinaciones bidimensionales idóneas y sencillas para resolver ecuaciones con ayuda de computadoras, y su empleo resulta conveniente y flexible a estos efectos, a fin de incorporar e identificar inmediatamente todas las posibilidades de secado de una muestra y las correcciones por interferencia u otras causas.

## ADJUNTO F DEL APÉNDICE 3. ESPECIFICACIONES EN CUANTO A LOS DATOS ADICIONALES

Como se requiere en 3.2 del Apéndice 3, además de las concentraciones medidas de los componentes de las muestras, deberán suministrarse los datos siguientes:

- a) temperatura en la boca de entrada: medida como la temperatura total en un punto distanciado un diámetro del plano de entrada del motor, con una precisión de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- b) humedad en la boca de entrada (kg agua/kg aire seco): medida en un punto situado hasta 15 m, como máximo, del plano de entrada, por delante del motor, con una precisión de  $\pm 5\%$ ;
- c) presión atmosférica: medida hasta 1 km, como máximo, del lugar donde se ensaya el motor y corregida, según sea necesario, a la altitud del banco de pruebas, con una precisión de  $\pm 100$  Pa;
- d) flujo de combustible: por medición directa, con una precisión de  $\pm 2\%$ ;
- e) relación H/C del combustible: definida como  $n/m$ , en la que  $C_mH_n$  constituye la representación equivalente de los hidrocarburos del combustible utilizado para hacer el ensayo y evaluada por referencia al análisis del tipo de combustible del motor;
- f) parámetros del motor:
  - 1) empuje: por medición directa, con una precisión de  $\pm 1\%$  al régimen de despegue y  $\pm 5\%$  a base del empuje mínimo utilizado en la prueba de homologación, con variación lineal entre esos puntos;
  - 2) velocidad(es) de rotación: por medición directa, con una precisión mínima de  $\pm 0,5\%$ ;
  - 3) flujo de aire del generador de gas: determinado con una precisión de  $\pm 2\%$ , por referencia a la calibración de performance del motor.

Los parámetros a), b), d) y f) se determinarán a cada ajuste de potencia para el ensayo de las emisiones, pero el parámetro c) deberá determinarse a intervalos mínimos de una hora, en el transcurso del período que requieran los ensayos de las emisiones.

## APÉNDICE 4. ESPECIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE QUE HA DE UTILIZARSE EN LAS PRUEBAS DE LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DE TURBINA

El combustible deberá ajustarse a las especificaciones de este Apéndice 4, a menos que la autoridad encargada de la certificación haya acordado una desviación respecto a las mismas y cualquier corrección necesaria. No contendrá aditivos con el propósito de suprimir el humo (como los compuestos organometálicos).

<i>Propiedad</i>	<i>Gama permisible de valores</i>
Densidad, kg/m <sup>3</sup> a 15°C	780 – 820
Temperatura de destilación, °C	
10% del punto de ebullición	155 – 201
Punto final de ebullición	235 – 285
Calor neto de combustión, MJ/kg	42,86 – 43,50
Aromáticos, % de volumen	15 – 23
Naftalinas, % de volumen	1,0 – 3,5
Punto de humo, mm	20 – 28
Hidrógeno, % de masa	13,4 – 14,3
Azufre, % de masa	menos de 0,3%
Viscosidad cinemática a -20°C, mm <sup>2</sup> /s	2,5 – 6,5

---



# APÉNDICE 5. INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE LOS MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSTCOMBUSTIÓN

## 1 INTRODUCCIÓN

*Nota.*— Los procedimientos aquí indicados conciernen a la adquisición de muestras representativas de los gases de escape y a su entrada y análisis en el dispositivo medidor de las emisiones. Este procedimiento sólo se aplica cuando media postcombustión. Los métodos propuestos representan la práctica moderna más avanzada, conocida y aceptada. Se admite la necesidad de hacer correcciones con respecto a las condiciones ambientales, pero el método se especificará cuando se cuente con alguno viable. Entretanto, todo método de corrección utilizado con postcombustión debería aprobarlo previamente la autoridad encargada de la certificación.

Sólo se admitirán variaciones en el procedimiento contenido en este apéndice previa solicitud a la autoridad encargada de la certificación y aprobación de la misma.

## 2. DEFINICIONES

En el presente apéndice, las expresiones siguientes, salvo que se expliquen con más detalle, tendrán los significados que se indican a continuación:

**Analizador infrarrojo sin dispersión.** Instrumento que, al absorber la energía infrarroja, mide selectivamente determinados componentes.

**Concentración.** La fracción volumétrica del componente deseado, en la mezcla de gas, expresada como porcentaje del volumen total o como partes por millón.

**Desviación cero.** La desviación, en relación con el tiempo, de la indicación del instrumento a partir del punto cero, cuando por el mismo pasa gas que no contiene el elemento que se desea medir.

**Detector de la ionización de la llama.** Detector de la difusión del hidrógeno-aire de la llama, que produce una señal nominalmente proporcional al gasto de hidrocarburos que penetra en la llama por unidad de tiempo; generalmente, se supone que es proporcionalmente sensible al número de átomos de carbono que penetran en la llama.

**Estabilidad.** La similitud que pueden registrar las mediciones repetidas de una muestra variable dada durante un período determinado.

**Gas cero.** El gas que hay que utilizar para determinar la posición cero de calibración del instrumento, es decir, el punto en el cual la reacción es nula.

**Gas de calibración.** Un gas de referencia de gran precisión, que hay que utilizar para alinear, ajustar y hacer la verificación periódica de los instrumentos.

**Gas de referencia.** Una mezcla de gases de composición especificada y conocida, utilizada como base para interpretar la reacción del instrumento, en función de la concentración del gas en presencia del cual reacciona el instrumento.

**Interferencia.** Toda reacción del instrumento debida a la presencia de elementos ajenos al gas (o vapor) que hay que medir.

**Partes por millón (ppm).** La concentración del volumen unitario de un gas por un millón de unidades de volumen de la mezcla de gases de la cual forma parte.

**Partes por millón de carbono (ppmC).** La fracción mol de hidrocarburo multiplicada por  $10^6$ , medida por referencia al metano. Así pues, 1 ppm de metano se indica como 1 ppmC. Para convertir la concentración de una ppm de cualquier hidrocarburo a una ppmC equivalente, multiplíquese la concentración ppm por el número de átomos de carbono por molécula de gas. Por ejemplo, 1 ppm de propano equivale a 3 ppmC de hidrocarburo; 1 ppm de hexano equivale a 6 ppmC de hidrocarburo.

**Penacho.** El flujo externo total exhalado, con inclusión de todo aire ambiente que se le mezcle.

**Precisión.** El grado de aproximación con que una medición se acerca al valor verdadero, medido independientemente.

**Repetibilidad.** La precisión con que la medición de una muestra dada e invariable puede lograrse repetidas veces en breve plazo con el mismo resultado, sin que sea necesario calibrar de nuevo el instrumento.

**Resolución.** El cambio mínimo perceptible en una medición.

**Respuesta.** Toda variación de la señal indicadora del instrumento, que ocurre al variar la concentración de la muestra. También, la señal indicadora correspondiente a la concentración de una muestra dada.

**Ruido.** Toda variación aleatoria de la indicación del instrumento, que nada tiene que ver con las características de la muestra, en contacto con la cual reacciona el instrumento, y que puede distinguirse por sus características de desviación.

### 3. DATOS NECESARIOS

#### 3.1 Emisiones gaseosas

Se determinará la concentración de las siguientes emisiones:

- a) Hidrocarburos (HC): se hará el cálculo combinado de todos los compuestos de hidrocarburos presentes en el gas de escape.
- b) Monóxido de carbono (CO).
- c) Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

*Nota.— Aunque no se lo considera como contaminante, se necesita su concentración para hacer los cálculos y verificaciones.*

- d) Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): se hará un cálculo de la suma de óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).
- e) Óxido nítrico (NO).

#### 3.2 Otros datos

Con objeto de normalizar los datos de medición de las emisiones y cuantificar las características de ensayo del motor, se suministrarán los datos siguientes, además de lo requerido en el Capítulo 3, 3.4:

- temperatura en la boca de entrada;
- humedad en la boca de entrada;
- presión atmosférica;

- vectores del viento en relación con el eje del escape del motor;
- relación hidrógeno/carbono del combustible;
- pormenores sobre la instalación del motor;
- otros parámetros necesarios del motor (por ejemplo, empuje, revoluciones del motor, temperaturas de la turbina);
- datos sobre la concentración de contaminantes y parámetros para la confirmación estadística.

Estos datos se obtendrán por medición directa o por cálculo, según se indica en el Adjunto F del presente apéndice.

#### 4. DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Debido a la naturaleza reactiva del penacho de escape de los motores con postcombustión, es preciso cerciorarse de que las emisiones medidas correspondan realmente a las efectivamente emitidas en la atmósfera circundante. Ello se logra extrayendo una muestra del penacho, a suficiente distancia del motor, para que los gases de escape se hayan enfriado hasta una temperatura tal que hayan cesado las reacciones. No se emplearán desecantes, secadoras, deshidratadoras ni equipo similar, para tratar la muestra que vaya a parar a los instrumentos analizadores de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos. En el párrafo 5 se indican los requisitos para los diversos subsistemas componentes, pero la lista que sigue a continuación enumera algunas de las salvedades y variaciones:

- a) se supone que cada uno de los diversos subsistemas tiene un regulador de flujo y los dispositivos de acondicionamiento y medición necesarios;
- b) la necesidad de contar con una bomba de vaciado y/o de muestra caliente dependerá de las posibilidades que haya de transferir la muestra en tiempo útil y del gasto de flujo que requiera el subsistema de análisis. Esto, a su vez, dependerá de la presión con la cual el escape desplace la muestra de gas y de las posibles pérdidas que haya en los conductos. Se considera que estas bombas serán mayormente necesarias en ciertas condiciones de funcionamiento del motor; y
- c) la posición de la bomba caliente, en relación con los subsistemas de análisis de los gases, puede variar, según sea necesario. (Por ejemplo, algunos analizadores de HC tienen bombas calientes, por lo que pueden considerarse apropiadas para su utilización más arriba que la bomba caliente del sistema).

*Nota.— En las Figuras A5-1 y A5-2 se ilustra el sistema de muestreo y análisis del escape de gases, que representa las exigencias básicas, típicas, para verificar la calidad de las emisiones.*

#### 5. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

*Nota.— A continuación se describen, a grandes rasgos, las especificaciones de los elementos principales del sistema de medición de las emisiones de gases de los motores. Cuando se necesiten más detalles, consúltense los Adjuntos A, B y C de este apéndice.*

##### 5.1 Dispositivo para medir las muestras

###### 5.1.1 Sonda de muestreo

- a) La sonda estará construida de tal manera que permita la extracción de muestras separadas en diversos puntos a lo largo del diámetro del penacho exhalado. No se permitirán muestras mezcladas.
- b) El material con el cual la muestra está en contacto deberá ser de acero inoxidable y su temperatura se mantendrá a un mínimo de 60°C.

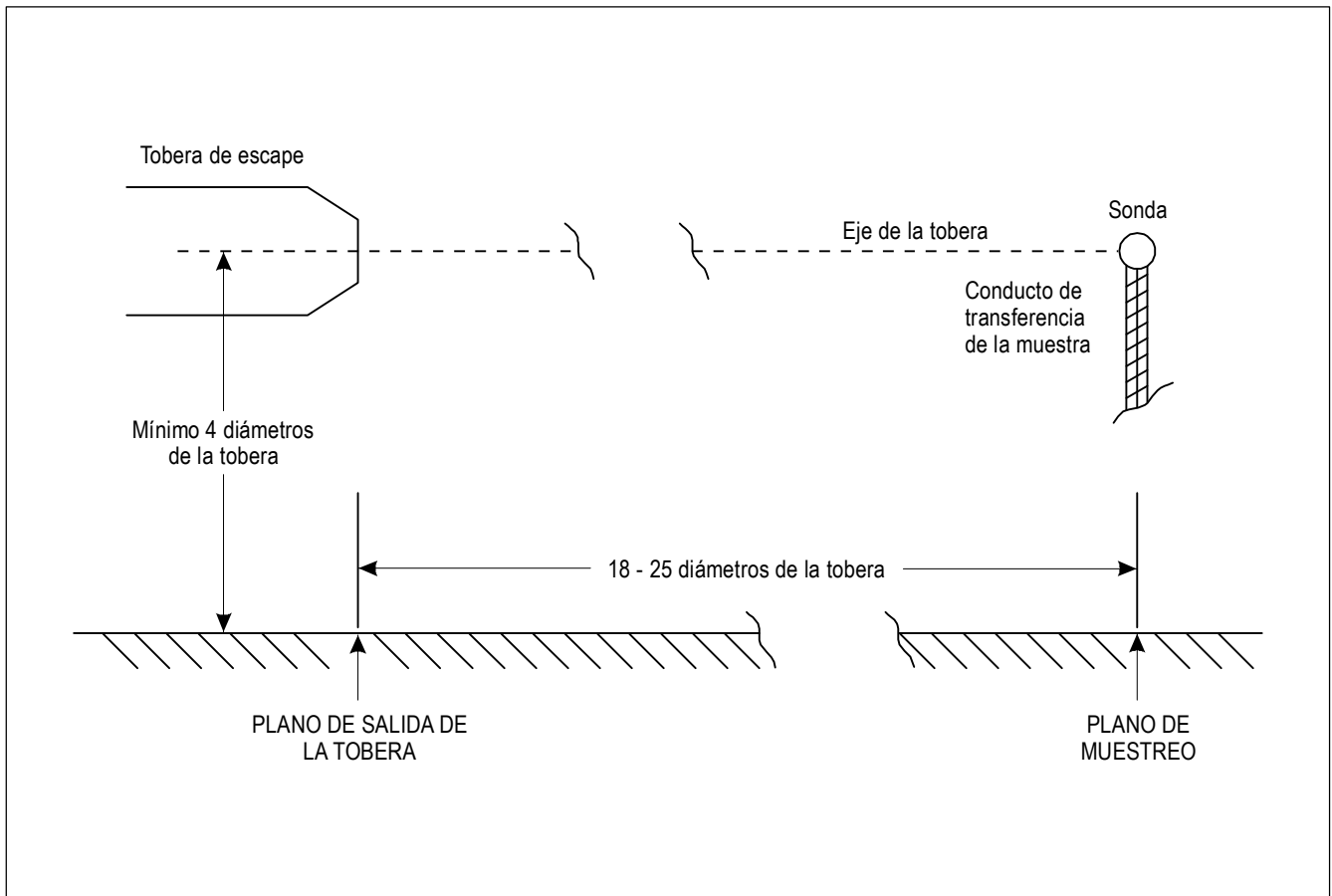
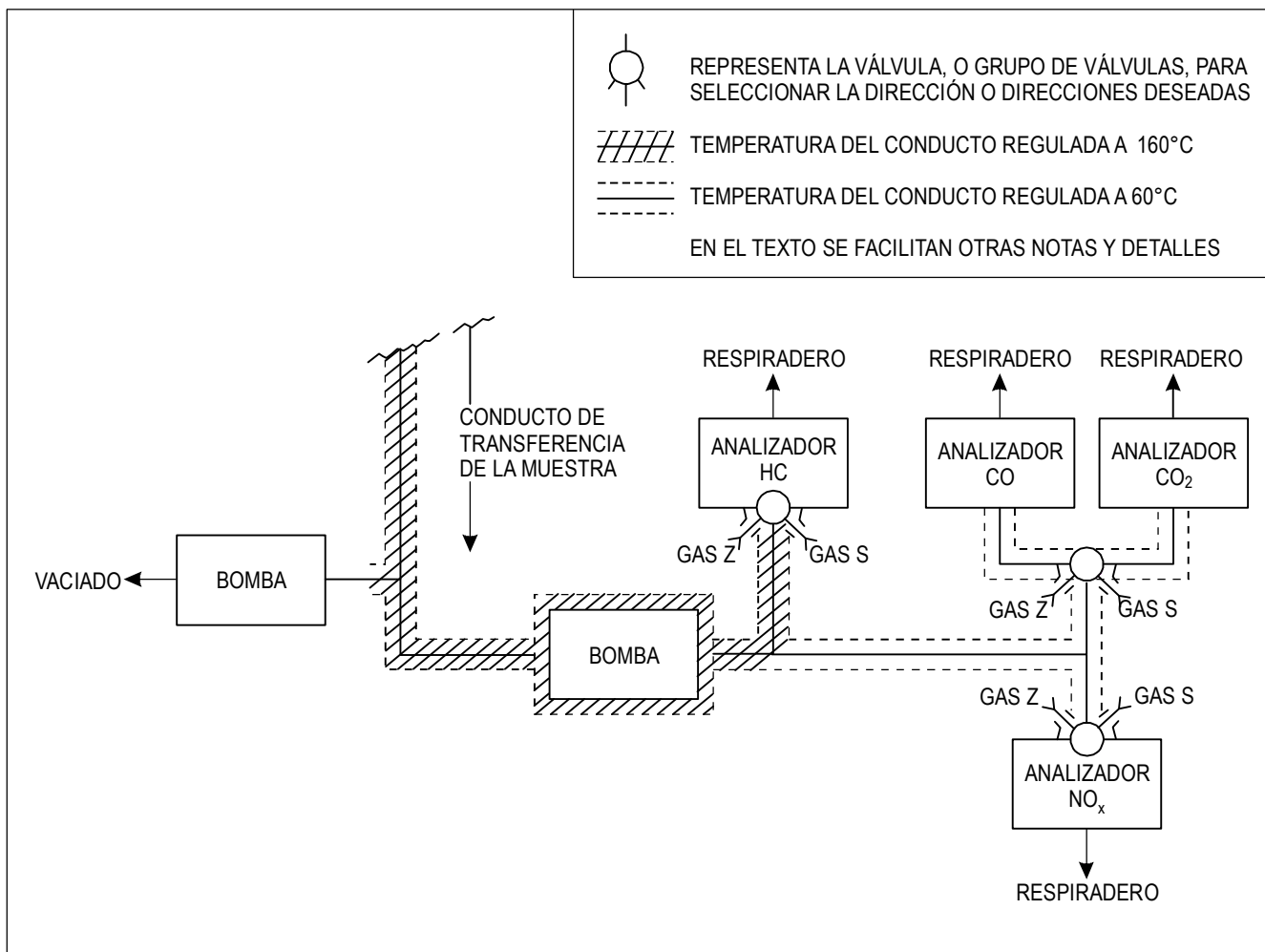


Figura A5-1. Diagrama del sistema de muestreo de los gases de escape





**Figura A5-2. Diagrama del sistema de muestreo, transferencia y análisis de la muestra**

- c) El plano de muestreo será perpendicular a la proyección del eje de la tobera del motor, y se colocará lo más cerca posible de un punto situado a 18 diámetros de la tobera del plano de salida de ésta, de conformidad con lo previsto en 7.1.2, pero, en ningún caso, a más de 25 diámetros de la tobera. El diámetro de la tobera de escape deberá ser el previsto para el régimen máximo de potencia del motor. Entre el escape, incluido éste y los planos de muestreo, deberá haber una porción sin obstrucciones de, por lo menos, 4 diámetros de la tobera de escape, en distancia radial a lo largo de la proyección del eje de la tobera del motor.
- d) Habrá, como mínimo, 11 puntos de muestreo. El plano de medición, situado a una distancia X del motor, se dividirá en tres secciones delimitadas por círculos concéntricos en torno al eje del chorro de escape con los radios siguientes:

$$R1 = 0,05X$$

$$R2 = 0,09X$$

y se tomarán como mínimo 3 muestras por sección. La diferencia entre el número de muestras de cada sección debe ser inferior a 3. La muestra extraída a mayor distancia del eje estará distanciada a un radio comprendido entre 0,11X y 0,16X.

### 5.1.2 Conductos de canalización de la muestra

La muestra se transferirá de la sonda a los analizadores por medio de un conducto de un diámetro interno de 4,0 a 8,5 mm, utilizando para ello el camino más corto posible y a base de un gasto de flujo tal que permita trasladarla en menos de 10 segundos. El conducto tendrá una temperatura constante de  $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ , con una estabilidad de  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . Cuando el muestreo se haga para medir los elementos HC, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, el conducto será de acero inoxidable o de politetrafluoretileno (PTFE) imprimado, con carga de negro de carbón.

## 5.2 Analizador de HC

La medición del total de los hidrocarburos contenidos en la muestra se hará mediante un analizador equipado con un detector de ionización de llama (FID) con calefacción, entre cuyos electrodos pasa una corriente de ionización proporcional a la masa de hidrocarburos que penetra en la llama de hidrógeno. Es de suponer que el analizador en cuestión tendrá dispositivos apropiados para regular la temperatura y el gasto de la muestra, para desviar ésta, el combustible y los gases diluentes, y para hacer la verificación efectiva de las calibraciones S (span) y Z (zero).

*Nota.— En el Adjunto A de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

## 5.3 Analizadores CO y CO<sub>2</sub>

Para medir esos elementos, habrá que utilizar analizadores de infrarrojo sin dispersión, que deberán ser del tipo que funciona a base de la absorción diferencial de energía en células paralelas de gas de referencia y de gas de muestra; la célula o grupo de ellas, respecto a cada uno de esos elementos gaseosos, se sensibilizará debidamente. Este subsistema de análisis incluirá todas las funciones necesarias para regular y manipular el flujo de la muestra, y el de los gases Z y S de referencia. La temperatura será la apropiada para la base de medición utilizada, húmeda o seca.

*Nota.— En el Adjunto B de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

## 5.4 Analizador de NO<sub>x</sub>

La medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno (NO) se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual la medición de la intensidad de la radiación emitida durante el tiempo de reacción de los NO contenidos en la muestra, más O<sub>3</sub>, constituye la medición de la concentración de los NO. El elemento NO<sub>2</sub> se convertirá en NO, en un convertidor idóneo, antes de hacer la medición. El sistema de medición de los NO<sub>x</sub> resultantes deberá tener todos los reguladores necesarios de flujo, temperatura y demás, y lo necesario para poder hacer la calibración acostumbrada de Z y S y permitir la verificación del rendimiento del convertidor.

*Nota.— En el Adjunto C de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.*

# 6. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR AL HACER EL ENSAYO GENERAL

## 6.1 Funcionamiento del motor

El motor se hará funcionar en un banco de pruebas al aire libre y estático apropiado y debidamente equipado para hacer ensayos de performance de gran precisión, que se ajuste a los requisitos para la instalación de la sonda de muestreo, según se la describe en 5.1. Los ensayos de las emisiones se harán a los regímenes de potencia prescritos por la autoridad encargada de la certificación. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

## 6.2 Condiciones atmosféricas ambientales

6.2.1 Deberán verificarse las concentraciones de CO, HC, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en el medio ambiente, con el motor marchando en condiciones de ensayo. Las concentraciones inusualmente elevadas de dichos gases revelan condiciones anormales, tales como la recirculación de gases de escape, pérdidas de combustible o cualquier otra fuente de emisiones que se desea evitar en la zona de prueba, y esas situaciones se corregirán o evitarán, según corresponda.

*Nota.— A título informativo, la concentración normal de CO<sub>2</sub> en el ambiente es de 0,03% y los niveles de concentración de CO y HC de 5 ppm, y el de NO<sub>x</sub> de 0,5 ppm, los cuales difícilmente se sobrepasan en condiciones ambientales normales.*

6.2.2 También se evitarán las condiciones climáticas extremas, tales como las que conlleva la precipitación o vientos de velocidad excesiva.

## 6.3 Calibración básica de instrumentos

*Nota.— El objetivo general de esta calibración es confirmar la estabilidad y linealidad.*

6.3.1 En el momento de hacer el ensayo, el solicitante deberá demostrar a la autoridad encargada de la certificación que la calibración del sistema analítico es correcta.

6.3.2 En cuanto al analizador de hidrocarburos, la calibración incluirá la verificación de que tanto el detector de oxígeno como las respuestas diferenciales de los hidrocarburos se ajustan a los límites previstos, según se indica en el Adjunto A de este apéndice. También se verificará la eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub>/NO, cerciorándose de que satisface lo previsto en el Adjunto C de este apéndice.

6.3.3 El procedimiento para verificar el comportamiento de cada analizador será el que se indica a continuación (utilizando los gases de calibración y de ensayo indicados en el Adjunto D de este apéndice):

- a) introdúzcase el gas cero (gas de referencia Z) y hágase el reglaje a cero del instrumento, anotando la posición correspondiente;
- b) por cada gama que haya de utilizarse en servicio, introdúzcase el gas de calibración del 90% (nominal) de la concentración correspondiente a la deflexión máxima de la escala (FSD); ajústese debidamente el regulador del instrumento y anótese su posición;
- c) introdúzcase aproximadamente el 30, 60 y 90% de las concentraciones FSD de la gama y anótese las indicaciones del analizador;
- d) trácese la recta de mínimos cuadrados correspondiente a los puntos 0, 30, 60 y 90% de concentración. En cuanto al analizador de CO y/o CO<sub>2</sub>, utilizado en su configuración básica, sin linealización de salida, se ajustará la curva de mínimos cuadrados de la fórmula matemática apropiada valiéndose de puntos de calibración adicionales, si se estima necesario. Si algún punto se aparta en más de 2% del valor de la escala (o  $\pm 1$  ppm\*, lo que sea mayor), habrá que trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.

---

\* Salvo en el caso del analizador de CO<sub>2</sub>, respecto al cual el valor debería ser de  $\pm 100$  ppm.

## 6.4 Utilización

6.4.1 No se hará ninguna medición hasta que no se hayan calentado y estabilizado todos los instrumentos y los conductos de transferencia de la muestra y hasta que no se hayan efectuado las verificaciones siguientes:

- a) verificación de las pérdidas: antes de efectuar una serie de ensayos, se verificará que el sistema no tenga pérdidas. Para hacerlo, aislar la sonda y los analizadores, conectar y accionar una bomba de vacío de actuación equivalente a la que se utilizó para el sistema de medición de humo a fin de comprobar que las pérdidas del gasto del sistema sean inferiores a 0,4 L/m, a la temperatura y presión normales;
- b) verificación de la limpieza: aislar el sistema de muestreo de gases de la sonda y conectar el extremo del conducto de muestra a una fuente de gas cero. Calentar el sistema hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento que se necesita para hacer las mediciones de hidrocarburos. Activar la bomba de flujo de la muestra y ajustar el flujo al valor utilizado durante el ensayo de las emisiones del motor. Registrar la lectura del analizador de hidrocarburos. La lectura no excederá de 1% del nivel de emisiones del motor en marcha lenta o 1 ppm (ambos expresados en el equivalente de metano), de estos valores el mayor.

*Nota 1.— Al hacer funcionar el motor, es conveniente purgar los conductos de muestreo mientras la sonda esté en el interior del escape de gases de motor, pero sin medir las emisiones, con objeto de cerciorarse de que la contaminación no sea excesiva.*

*Nota 2.— También es conveniente controlar la calidad del aire de entrada al principio y al final del ensayo y por lo menos una vez por hora durante el mismo. Si se considera que los niveles son importantes, deberían tenerse en cuenta.*

6.4.2 Para hacer la medición con el motor en funcionamiento, se adoptará el siguiente procedimiento:

- a) aplíquese el gas cero apropiado y háganse los ajustes necesarios del instrumento;
- b) aplíquese el gas de calibración apropiado, al 90% nominal de concentración FSD con respecto a las gamas que haya que utilizar, y ajústese y anótese debidamente la posición del regulador de ganancia;
- c) una vez que el motor se haya estabilizado a la modalidad de utilización necesaria y en el emplazamiento de muestreo, deberá seguir funcionando. Obsérvense las concentraciones de los contaminantes hasta obtener una indicación estabilizada, que habrá que anotar. En la misma modalidad de utilización del motor, repítase el procedimiento de medición en cada emplazamiento de muestreo restante;
- d) una vez terminado el ensayo y también a intervalos máximos de una hora, durante los ensayos, verifíquense de nuevo el punto cero y los de calibración. Si uno de ellos ha variado más del  $\pm 2\%$  de la escala FSD, habrá que repetir el ensayo hasta que el instrumento haya recuperado su posición indicada, dentro de los márgenes de la especificación de referencia.

## 7. CÁLCULOS

### 7.1 Emisiones gaseosas

#### 7.1.1 Generalidades

Las mediciones analíticas realizadas representarán las concentraciones de las diversas clases de contaminantes que correspondan al (a los) régimen(es) de postcombustión del motor, en los diversos puntos del plano de muestreo. Además de anotar estos parámetros básicos, será necesario calcular y notificar otros parámetros, como se indica a continuación:

7.1.2 Análisis y confirmación de las mediciones

- a) Para cada reglaje del motor, deberán promediarse las concentraciones medidas a base de diferentes posiciones de la sonda de muestreo, de la forma siguiente:

$$C_{i \text{ moy}} = \sum_{j=1}^n C_{i j}$$

donde:

$\sum_{j=1}^n$  Suma del número total  $n$  de las posiciones de muestreo utilizadas.

$C_{i j}$  Concentraciones de la especie  $i$  medidas en la  $j$ ésima posición de muestreo.

$C_{i \text{ moy}}$  Promedio de concentración o media de la especie  $i$ .

Las mediciones de la concentración seca se convertirán en concentraciones húmedas reales (véase el Adjunto E de este apéndice).

- b) La calidad de las mediciones de cada contaminante se determinará comparándolas con las mediciones de CO<sub>2</sub> aplicando el coeficiente de correlación siguiente:

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} \text{CO}_{2j} - \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j}}{\sqrt{\left\{ \left[ n \sum_{j=1}^n (\text{CO}_{2j})^2 - \left( \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j} \right)^2 \right] \left[ n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - \left( \sum_{j=1}^n C_{ij} \right)^2 \right] \right\}}}$$

Los valores de  $r_i$  que se aproximan a 1 indican que las ediciones obtenidas durante el transcurso de todo el período de muestreo son suficientemente estables y que las curvas son gaussianas. En el caso de que  $r_i$  sea inferior a 0,95, habrá que repetir las mediciones en un plano de muestreo situado a mayor distancia del motor de la aeronave. Completado el proceso de medición propiamente dicho, se hacen luego los mismos cálculos y demostración precedentes.

7.1.3 Parámetros básicos

Para la medición de cada modalidad de utilización del motor se estima la concentración media de cada especie gaseosa del modo ilustrado en 7.1.2, habiendo efectuado de la forma indicada en el Adjunto E de este apéndice todas las correcciones necesarias en concepto de mediciones de muestra en seco y/o de interferencias. Estas concentraciones medias se utilizan para el cómputo de los parámetros básicos siguientes:

$$\text{EI}_p \text{ (índice de emisión del elemento } p) = \frac{\text{masa de } p \text{ producida en gm}}{\text{masa de combustible utilizado en kg}}$$

$$\text{EI}(\text{CO}) = \left( \frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$EI(\text{HC}) = \left( \frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$EI(\text{NO}_x) \text{ (como NO}_2) = \left( \frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left( \frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right) (1+T(P_0/m))$$

$$\text{Relación aire/combustible} = (P_0/m) \left( \frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (n/m)M_{\text{H}}} \right)$$

en la que:

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{\text{vol}} - [TZ/2])}$$

y

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x])[ \text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

$M_{\text{AIR}}$  masa molecular de aire seco = 28,966 g, o bien, cuando corresponda,  
= (32  $R$  + 28,156 4  $S$  + 44,011  $T$ ) g

$M_{\text{HC}}$  masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como  $\text{CH}_4$  = 16,043 g

$M_{\text{CO}}$  masa molecular de  $\text{CO}$  = 28,011 g

$M_{\text{NO}_2}$  masa molecular del  $\text{NO}_2$  = 46,008 g

$M_{\text{C}}$  masa atómica del carbono = 12,011 g

$M_{\text{H}}$  masa atómica del hidrógeno = 1,008 g

$R$  concentración de  $\text{O}_2$  en aire seco, por volumen = normalmente 0,209 5

$S$  concentración de  $\text{N}_2$  + gases raros en aire seco, por volumen = normalmente 0,790 2

$T$  concentración de  $\text{CO}_2$  en aire seco, por volumen = normalmente 0,000 3

[HC] concentración húmeda media de hidrocarburos del escape por volumen, expresada como carbono

[CO] concentración húmeda media de  $\text{CO}$ , por volumen

[ $\text{CO}_2$ ] concentración húmeda media de  $\text{CO}_2$ , por volumen

[ $\text{NO}_x$ ] concentración húmeda media de  $\text{NO}_x$ , por volumen

$$= ([\text{NO}] + [\text{NO}_2])$$

- [NO] concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, por volumen
- [NO<sub>2</sub>] concentración húmeda media de NO<sub>2</sub> en la muestra de escape, por volumen
- $$= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$$
- [NO<sub>x,c</sub>] concentración media de NO en la muestra de escape una vez pasado el convertidor de NO<sub>2</sub> a NO, por volumen
- eficacia del convertidor de NO<sub>2</sub> a NO
- $h_{vol}$  humedad del aire ambiente, volumen de agua/volumen de aire seco
- $m$  número de átomos de C en una molécula característica del combustible
- $n$  número de átomos de H en una molécula característica del combustible
- $x$  número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
- $y$  número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape

El valor de  $(n/m)$ , la relación entre el hidrógeno atómico y el carbono atómico del combustible utilizado, se evalúa analizando el tipo de combustible. La humedad del aire ambiente ( $h$ ) se medirá en cada condición de utilización. A falta de pruebas en contrario de la caracterización  $(x,y)$  de los hidrocarburos del escape, se utilizarán los valores  $x = 1$ ,  $y = 4$ . Si hay que utilizar mediciones del CO y del CO<sub>2</sub>, ya sea seco o semisecho, éstas se convertirán primero en las concentraciones húmedas equivalentes que figuran en el Adjunto E de este apéndice, donde también figuran fórmulas para corregir las interferencias, cuando sea menester.

*Nota.— El procedimiento previsto en 7.1.4 y en 7.2 sólo es aplicable a las pruebas hechas sin postcombustión. Cuando las pruebas se hagan con postcombustión podría emplearse un procedimiento similar, previa aprobación de la autoridad encargada de la certificación.*

#### 7.1.4 Corrección de los índices de emisión con respecto a las condiciones de referencia

Se harán las correcciones a los índices de emisión medidos, respecto a todos los contaminantes, en cada una de las modalidades pertinentes de utilización del motor, para tener en cuenta las discrepancias respecto a las condiciones verdaderas de referencia (ISA al nivel del mar) de la temperatura y presión del aire en la boca de entrada. El valor de referencia de la humedad será de 0,00634 kg H<sub>2</sub>O/kg de aire seco.

Así, pues, tendremos: El corregido =  $K \times \text{EI medido}$ ,

en que la expresión generalizada de  $K$  es:

$$K = (P_{Bref}/P_B)^a \times (FAR_{ref}/FAR_B)^b \times \exp ([T_{Bref} - T_B]/c) \times \exp (d[h_{vol} - 0,00634])$$

$P_B$  presión medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos

$T_B$  temperatura medida en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos

$FAR_B$  relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos

$h_{vol}$	humedad del aire ambiente
$P_{ref}$	presión ISA al nivel del mar
$T_{ref}$	temperatura ISA al nivel del mar
$P_{Bref}$	presión en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos del motor probado (o del motor de referencia, si los datos se corrigen respecto a un motor de esta índole) correspondiente a la $T_B$ en condiciones ISA al nivel del mar
$T_{Bref}$	temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar, del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia). Esta temperatura es la que corresponde a cada nivel de empuje especificado para cada modalidad de utilización
$FAR_{ref}$	relación aire/combustible en la cámara de combustión y accesorios conexos en condiciones ISA al nivel del mar del motor probado (o del motor de referencia, si los datos han de corregirse respecto a un motor de referencia)
$a, b, c, d$	constantes específicas que pueden variar según el contaminante y el tipo de motor

Preferiblemente, los parámetros de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos se medirán, pero también pueden calcularse a partir de las condiciones ambientales, mediante fórmulas apropiadas.

7.1.5 Si se utiliza la técnica recomendada de ajuste de la curva para relacionar los índices de emisión con la temperatura de la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos, se elimina, de hecho, el término  $\exp([T_{Bref} - T_B]/c)$  de la ecuación generalizada y, en la mayoría de los casos, el término  $(FAR_{ref}/FAR_B)$  puede considerarse igual a la unidad. En cuanto a los índices de las emisiones de CO y HC, muchos laboratorios de ensayo han determinado que la humedad está suficientemente cerca de la unidad como para eliminarla de la expresión y que el exponente del término  $(P_{Bref}/P_B)$  también se acerca a la unidad.

Así pues,

EI(CO) corregido = EI derivado de  $(P_B/P_{Bref}) \cdot$  EI(CO) en función de la curva de  $T_B$ ;

EI(HC) corregido = EI derivado de  $(P_B/P_{Bref}) \cdot$  EI(HC) en función de la curva de  $T_B$ ;

EI(NO<sub>x</sub>) corregido = EI derivado de EI(NO<sub>x</sub>)  $(P_{Bref}/P_B)^{0,5 \exp(19[h_{vol} - 0,00634])}$  en función de la curva de  $T_B$ .

Si no se obtiene una correlación satisfactoria con este método recomendado para corrección del índice de emisiones de CO y HC, podrá utilizarse otro método con los parámetros que se derivan de los ensayos de componentes.

Cualquier otro método utilizado para corregir los índices de emisión del CO, los HC y los NO<sub>x</sub> debe contar con el visto bueno de la autoridad encargada de la certificación.

## 7.2 Funciones del parámetro regulador

$(D_p, F_{oo}, \pi)$

### 7.2.1 Definiciones

$D_p$  La masa de todo contaminante gaseoso emitido durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue para las emisiones.



- $F_{oo}$  El empuje máximo desarrollado para el despegue en condiciones normales de utilización y en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, sin inyección de agua, que haya aprobado la autoridad competente encargada de la certificación.
- $\pi$  La relación entre la presión total media en el último plano de descarga del compresor y la presión total media en el plano de entrada del compresor, cuando el motor desarrolla el empuje nominal de despegue en condiciones estáticas en la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar.

7.2.2 Los índices de emisión (EI) de cada contaminante, corregidos en cuanto a la presión y humedad (según sea el caso) en relación con las condiciones atmosféricas ambientales de referencia, según se indica en 7.1.4, y, si es preciso, en relación con el motor de referencia, se obtendrán a base de la modalidad de utilización del ciclo LTO requerido del motor ( $n$ ), es decir: marcha lenta, aproximación, ascenso y despegue, en cada una de las condiciones de empuje equivalentes corregidas. Se requerirán tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Con respecto a cada contaminante, se determinarán las relaciones siguientes:

- entre EI y  $T_B$ ; y
- entre  $W_f$  (gasto del flujo de la masa de combustible del motor) y  $T_B$ ; y
- entre  $F_n$  (corregido a las condiciones ISA al nivel mar) y  $T_B$  (corregida a las condiciones ISA al nivel del mar);

*Nota.*— Véanse los ejemplos ilustrados en la Figura A5-3 a), b) y c).

Cuando el motor en ensayo no sea un motor “de referencia”, los datos podrán corregirse a las condiciones del motor “de referencia” utilizando las relaciones b) y c) obtenidas de un motor de referencia. Se entiende por motor de referencia aquél que corresponde fundamentalmente a la descripción del motor cuya certificación se solicita y que la autoridad encargada de la certificación ha aceptado como representativo del tipo de motor en cuestión.

El fabricante también suministrará a la autoridad encargada de la certificación todos los datos necesarios sobre la performance del motor, a fin de poder comprobar esas relaciones, y en las condiciones ambientales de la atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar:

- el empuje nominal máximo ( $F_{oo}$ ); y
- la relación de presión del motor ( $\pi$ ) al empuje nominal máximo.

*Nota.*— Véase el ejemplo ilustrado en la Figura A5-3 d).

7.2.3 La estimación del EI de cada contaminante, en cada uno de los reglajes requeridos del régimen del motor, corregido a las condiciones ambientales de referencia, se ajustará al procedimiento general siguiente:

- en cada modalidad de empuje  $F_n$  en condiciones ISA, determinar la temperatura equivalente en la boca de entrada de la cámara de combustión y accesorios conexos ( $T_B$ ) [Figura A5-3 c)];
- a partir de la característica EI/ $T_B$  [Figura A5-3 a)], determinar el valor EI $_n$  correspondiente a  $T_B$ ;
- a partir de la característica  $W_f$ / $T_B$  [Figura A5-3 b)], determinar el valor  $W_{fn}$  correspondiente a  $T_B$ ;
- obsérvense los valores máximos del régimen nominal de empuje y de la relación de presión en la atmósfera tipo internacional (ISA), que son  $F_{oo}$  y  $\pi$ , respectivamente [Figura A5-3 d)];

e) calcúlese, para cada contaminante  $D_p = \Sigma (EI_n) (W_{fn}) (t)$ , en la que:

$t$  tiempo en la modalidad LTO (minutos)

$W_{fn}$  gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min)

$\Sigma$  suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO.

7.2.4 Si bien la metodología descrita es la recomendada, la autoridad encargada de la certificación podrá aceptar procedimientos matemáticos equivalentes que se valgan de expresiones matemáticas para representar las curvas ilustradas, siempre que dichas expresiones se hayan derivado utilizando alguna técnica aceptada de adaptación de las curvas.

### 7.3 Excepciones en cuanto a los procedimientos propuestos

En aquellos casos en que la configuración del motor u otras condiciones atenuantes impidan la aplicación de este procedimiento, la autoridad encargada de la certificación podrá aprobar otro procedimiento, una vez que haya recibido pruebas técnicas convincentes de los resultados equivalentes obtenidos con el mismo.

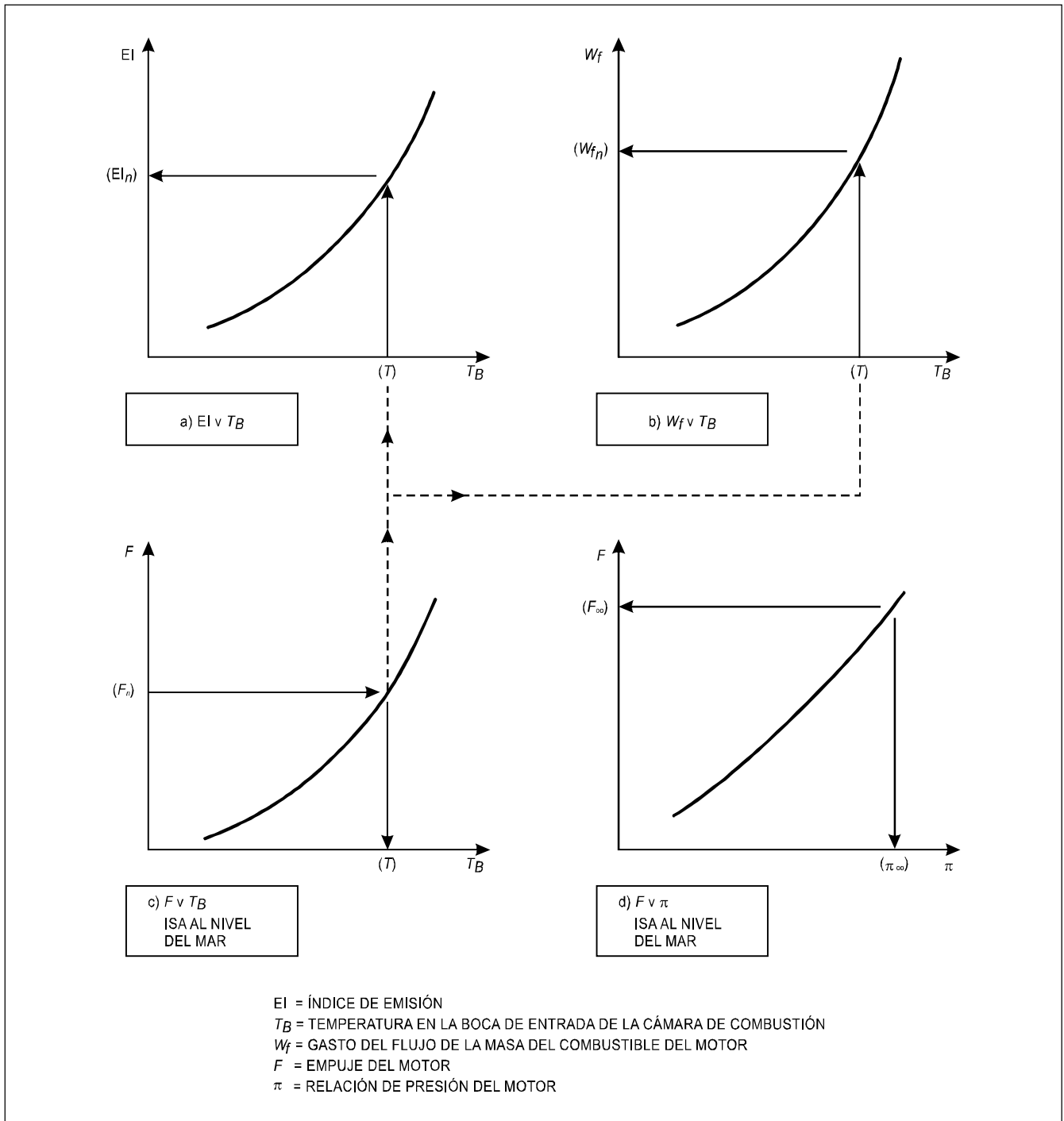


Figura A5-3. Procedimiento de cálculo

## ADJUNTO A DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE HC

*Nota 1.— Como se describe en 5.2 del Apéndice 5, el elemento medidor de este analizador es el detector de ionización de la llama (FID), en el cual todo el flujo de la muestra, o una parte representativa de la misma, penetra en una llama de hidrógeno. A base de electrodos colocados en posiciones apropiadas, es posible hacer pasar una corriente ionizante en función de la proporción de los hidrocarburos que penetran en la llama. Es precisamente esta corriente la que, referida a un cero apropiado, se amplía y relaciona con la escala de la gama deseada del instrumento para conseguir la respuesta en función de la concentración de hidrocarburos expresada como equivalente de las ppmC.*

*Nota 2.— La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en el Adjunto D.*

### 1. GENERALIDADES

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

El instrumento que se utilice deberá poder mantener la temperatura del detector y de los componentes de manipulación de la muestra a determinada temperatura, comprendida en la gama de 155°C a 165°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Los puntos de especificación iniciales deberán ser los indicados a continuación, con tal que la reacción del detector se haya optimizado y el instrumento se haya estabilizado en general:

- a) *Gama total:* de 0 a 500 ppmC, en las gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* superior al 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 0,5 ppmC, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* superior al  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0,5$  ppmC, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* superior al  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1,0$  ppmC, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0,5$  ppmC, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 0,5$  ppmC, lo que sea mayor.
- g) *Tiempo de respuesta:* no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- h) *Linealidad:* con propano mezclado con aire, la respuesta deberá ser lineal respecto a cada gama, con una tolerancia de  $\pm 2\%$  del máximo de la escala, de no ser así, será necesario rectificar la calibración.

## 2. EFECTOS SINÉRGICOS

*Nota.*— En su aplicación práctica, hay dos aspectos de la performance que pueden afectar la precisión de la medición, a saber:

- a) el efecto del oxígeno (ya que las distintas proporciones de oxígeno presentes en la muestra dan concentraciones indicadas diferentes de hidrocarburos, en cuanto se trata de concentraciones constantes verdaderas de HC); y
- b) la respuesta relativa de los hidrocarburos (por la cual la respuesta es diferente respecto a la misma concentración de hidrocarburos de la muestra expresada como equivalente en ppmC, que depende de la clase o combinación de clases de los compuestos de hidrocarburo).

La magnitud de los efectos señalados se determinará como se indica a continuación, y se limitará en consecuencia.

*Respuesta del oxígeno:* mídase ésta con dos mezclas de propano, en una concentración aproximada de 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$ , como se indica a continuación:

- 1) propano en  $10 \pm 1\%$  de  $O_2$ , y el resto  $N_2$
- 2) propano en  $21 \pm 1\%$  de  $O_2$ , y el resto  $N_2$

Si  $R_1$  y  $R_2$  constituyen las respuestas normalizadas respectivas,  $(R_1 - R_2)$  no deberá alcanzar el 3% de  $R_1$ .

*Respuesta diferencial de los hidrocarburos:* mídase la respuesta con cuatro mezclas de hidrocarburos distintos mezclados con aire, en concentraciones de unas 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del  $\pm 1\%$  como sigue:

- a) propano en aire cero;
- b) propileno en aire cero;
- c) tolueno en aire cero;
- d) n-hexano en aire cero.

Si  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  y  $R_d$  constituyen, respectivamente, las respuestas normalizadas (con respecto al propano), tendremos que  $(R_a - R_b)$ ,  $(R_a - R_c)$  y  $(R_a - R_d)$  deberán ser, cada una de ellas, inferiores al 5% de  $R_a$ .

## 3. OPTIMIZACIÓN DE LA REACCIÓN Y ALINEACIÓN DEL DETECTOR

3.1 Habrá que seguir siempre las instrucciones facilitadas por el fabricante en cuanto a la determinación de los procedimientos, servicios auxiliares y suministros necesarios, y dejar que el instrumento se estabilice. Todas las posiciones de ajuste requerirán la verificación iterativa de la posición cero, y hacer la corrección necesaria, si es menester. Utilizando como ejemplo una muestra de unas 500 ppmC de propano mezclado con aire, se determinará la característica de la respuesta: primero, en cuanto a las variaciones del flujo de combustible y, luego, casi al flujo óptimo de combustible, para poder seleccionar el punto óptimo en cuanto a las variaciones de la dilución del flujo de aire. A continuación se evaluarán la respuesta de oxígeno y la del diferencial de los hidrocarburos, como se deja apuntado.

3.2 La linealidad de cada escala de gamas del analizador se verificará añadiendo propano a las muestras de aire, en concentraciones de un 30, 60 y 90% respecto al punto máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta de cada una de esas concentraciones, a partir de una recta de mínimos cuadrados (trazada a base de los puntos y el cero) no deberá discrepar más del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala. En caso contrario, será preciso trazar una curva de calibración para su empleo en servicio.

## ADJUNTO B DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES DE LOS ANALIZADORES DE CO Y DE CO<sub>2</sub>

*Nota 1.— En 5.3 del Apéndice 5 se resumen las características del subsistema de análisis que hay que utilizar para medir separadamente las concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> de la muestra de los gases de escape. Los instrumentos en cuestión se basan en el principio de la absorción sin dispersión de la radiación infrarroja en células paralelas del gas de referencia y del gas de muestra. Las gamas de sensibilidad se obtienen utilizando células de muestra superpuestas, o a base de las variaciones que se producen en los circuitos electrónicos, o ambas cosas a la vez. Los efectos debidos a los gases con bandas de absorción superpuestas, pueden reducirse mediante filtros que absorban el gas o con filtros ópticos, de preferencia estos últimos.*

*Nota 2.— La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en el Adjunto D.*

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

Las características de actuación principales deberán ser:

### *Analizador de CO*

- a) *Gama total:* de 0 a 2 500 ppm, en gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 1 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos del  $\pm 1\%$  ppm del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 1$  ppm, lo que sea mayor.
- g) *Interferencias:* habrá que limitarlas, con respecto a la concentración de CO indicada, como sigue:
  - 1) menos de 500 ppm por ciento de la concentración de etileno;
  - 2) menos de 2 ppm por ciento de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - 3) menos de 2 ppm por ciento de la concentración de vapor acuoso.\*

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

---

\* No es aplicable necesariamente cuando las mediciones se han hecho a base de muestras “secas”.

*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que estos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

#### Analizador de CO<sub>2</sub>

- a) *Gama total:* del 0 al 10% de gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 100 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos del  $\pm 1\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 100$  ppm, la que sea mayor.
- g) Se verificará el efecto del oxígeno (O<sub>2</sub>) en la respuesta del analizador de CO<sub>2</sub>. Para un cambio de 0% O<sub>2</sub> a 21% de O<sub>2</sub> la respuesta de una concentración determinada de CO<sub>2</sub> no cambiará en más de 2% de la lectura. Si no se puede alcanzar este límite, se aplicará el factor de corrección apropiado.

*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que estos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

#### Analizadores de CO y de CO<sub>2</sub>

- a) *Tiempo de respuesta:* no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- b) *Temperatura de la muestra:* la modalidad preferida es analizar la muestra “mojada” (sin tratar). Esto exige que tanto la célula de muestra como todos los demás elementos que, en este subsistema, entren en contacto con ella, permanezcan a una temperatura mínima de 50°C, con una estabilidad de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Se admite la posibilidad de medir el CO y el CO<sub>2</sub> en seco (con deshidratador apropiado), en cuyo caso se pueden utilizar analizadores sin calentar y anular así los efectos limitadores del vapor de agua; luego, es necesario hacer la corrección en cuanto al vapor acuoso de entrada y al agua desprendida por la combustión.
- c) *Curvas de calibración:*
  - i) Se verificarán los analizadores con característica lineal de salida de señal en todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. La desviación máxima de la respuesta en cualquiera de estos puntos a partir de una recta de mínimos cuadrados, ajustada a los puntos y la lectura cero, no excederá de  $\pm 2\%$  del valor máximo de la escala. Si excede de este valor, será preciso trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.
  - ii) En el caso de los analizadores con característica no lineal de salida de señal, y de los que no cumplan con los requisitos de linealidad mencionados, será preciso trazar curvas de calibración para todas las gamas que se utilizan empleando gases de calibración en concentraciones conocidas de aproximadamente 0, 30, 60 y 90% del máximo de la escala. Se utilizarán otras mezclas, si es necesario, para definir adecuadamente la forma de la curva.

## ADJUNTO C DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES DEL ANALIZADOR DE NO<sub>x</sub>

*Nota.— La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en el Adjunto D.*

1. Como se indica en 5.4 del Apéndice 5, la medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno se hará por el método químico-luminiscente, mediante el cual se mide la intensidad de la radiación emitida por la reacción del NO con el O<sub>3</sub>. Este método no es sensible al NO<sub>2</sub> y, por esto, será necesario pasar la muestra por un convertidor, en el cual el NO<sub>2</sub> se convierte en NO, antes de hacer la medición del NO<sub>x</sub> total. Habrá que anotar tanto el NO original como el NO<sub>x</sub>. Así por diferenciación, se podrá medir la concentración del NO<sub>2</sub>.

2. El instrumento a utilizar deberá tener todos los componentes necesarios para regular el flujo, tales como reguladores, válvulas, flujómetro (aforador), etc. Los materiales que tengan que entrar en contacto con el gas de muestra se limitarán a aquellos que resistan la corrosión causada por los óxidos de nitrógeno, es decir, acero inoxidable, vidrio, etc. En todo momento, la temperatura de la muestra se mantendrá en aquellos valores compatibles con las presiones locales, que eviten la condensación de agua.

**Precauciones:** Las especificaciones de actuación que se indican corresponden generalmente al máximo de la escala del analizador. Los errores que no llegan al máximo de la escala pueden representar un porcentaje significativamente mayor de la lectura. La pertinencia y la importancia de estos aumentos se considerará al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se habrán de tomar las precauciones apropiadas.

3. Las especificaciones principales de actuación del instrumento utilizado a la temperatura ambiente y estable, dentro de un margen de tolerancia de 2°C, serán las siguientes:

- a) *Gama total:* de 0 a 2 500 ppm, en las gamas apropiadas.
- b) *Resolución:* menos del 0,5% del máximo de la escala de la gama utilizada o 1 ppm, la que sea mayor.
- c) *Repetibilidad:* menos del ±1% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, la que sea mayor.
- d) *Estabilidad:* menos del ±2% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) *Desviación cero:* menos de ±1% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) *Ruido:* 0,5 Hz y mayor, menos de ±1,0% del máximo de la escala de la gama utilizada o ±1 ppm, lo que sea mayor, en un período de dos horas.
- g) *Interferencias:* la supresión, respecto a las muestras que contienen CO<sub>2</sub> y vapor acuoso, se limitará a lo siguiente:
  - menos del 0,5% de la indicación/porcentaje de la concentración de CO<sub>2</sub>;
  - menos del 0,1% de la indicación/porcentaje de la concentración del vapor de agua.

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO<sub>2</sub> o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.



*Nota.— Se recomienda, de conformidad con la práctica apropiada, que esos procedimientos de corrección se adopten en todos los casos.*

- h) *Tiempo de respuesta:* no deberá exceder de 10 segundos, desde el momento de entrada de la muestra al sistema analizador hasta conseguir el 90% de la indicación definitiva.
- i) *Linealidad:* menos del  $\pm 2\%$  del máximo de la escala de la gama utilizada o  $\pm 2$  ppm, la que sea mayor.
- j) *Convertidor:* estará concebido y funcionará de manera que reduzca a NO el NO<sub>2</sub> presente en la muestra. El convertidor no alterará el NO contenido inicialmente en la muestra.

El rendimiento técnico del convertidor será, por lo menos, del 90%.

Este valor del rendimiento se empleará para corregir el valor del NO<sub>2</sub> de la muestra medida (es decir,  $[\text{NO}_{x,c}] - [\text{NO}]$ ) el que habría obtenido si el rendimiento hubiese sido del 100%.

## ADJUNTO D DEL APÉNDICE 5. GASES DE CALIBRACIÓN Y DE ENSAYO

**Tabla de gases de calibración**

<i>Analizador</i>	<i>Gas</i>	<i>Precisión*</i>
HC	propano en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 0,05$ ppm**
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 100$ ppm**
CO	CO en aire cero	$\pm 2\%$ o $\pm 2$ ppm**
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> en nitrógeno cero	$\pm 2\%$ o $\pm 1$ ppm**

\* Basada en el "intervalo" de confianza del 95%.  
\*\* La que sea mayor.

Los gases que anteceden se requieren para llevar a cabo la calibración ordinaria de los analizadores durante el uso operacional normal.

**Tabla de gases de ensayo**

<i>Analizador</i>	<i>Gas</i>	<i>Precisión*</i>
HC	propano en 10 $\pm 1\%$ de O <sub>2</sub> , el resto nitrógeno cero	$\pm 1\%$
HC	propano en 21 $\pm 1\%$ de O <sub>2</sub> , el resto nitrógeno cero	$\pm 1\%$
HC	propileno en aire cero	$\pm 1\%$
HC	tolueno en aire cero	$\pm 1\%$
HC	n-hexano en aire cero	$\pm 1\%$
HC	propano en aire cero	$\pm 1\%$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en aire cero	$\pm 1\%$
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en nitrógeno cero	$\pm 1\%$
CO	CO en aire cero	$\pm 1\%$
NO <sub>x</sub>	NO en nitrógeno cero	$\pm 1\%$

\* Basada en el "intervalo" de confianza del 95%.

Los gases que anteceden se requieren para llevar a cabo los ensayos de los Adjuntos A, B y C.

Los gases de calibración monóxido de carbono y bióxido de carbono podrán mezclarse separadamente o como mezclas de dos componentes. Pueden emplearse mezclas, compuestas de monóxido de carbono, bióxido de carbono y propano en aire seco, a condición de que pueda preservarse la estabilidad de la mezcla.

El gas cero especificado para el analizador del CO, CO<sub>2</sub> y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire “artificial” con un 20 a 22% de O<sub>2</sub> combinado con N<sub>2</sub>). Con respecto al analizador de NO<sub>x</sub>, el nitrógeno cero se considerará como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deberán limitarse, de modo que sean inferiores a las concentraciones siguientes:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO<sub>2</sub>
- 1 ppm NO<sub>x</sub>

El solicitante deberá cerciorarse de que los gases comerciales que haya recibido respondan efectivamente a esta especificación, o de que así los especifique el vendedor del producto.

## ADJUNTO E DEL APÉNDICE 5. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA

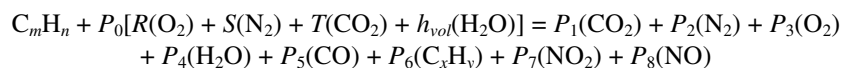
### 1. SÍMBOLOS

AFR	relación aire/combustible; la relación del gasto del flujo de la masa de aire seco con respecto al del combustible
EI	índice de emisión: $10_3 \times$ gastos del flujo de la masa del producto de las emisiones gaseosas en el escape, por unidad de gasto del flujo de la masa de combustible
K	relación de concentración medida húmeda con respecto a la medida en seco (pasado el deshidratador)
$L, L'$	coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del $\text{CO}_2$
$M, M'$	coeficiente de interferencia del analizador, de la interferencia del $\text{H}_2\text{O}$
$M_{AIR}$	masa molecular de aire seco = 28,966 g, o bien, cuando corresponda, = $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ g
$M_{CO}$	masa molecular de CO = 28,011 g
$M_{HC}$	masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como $\text{CH}_4$ = 16,043 g
$M_{NO_2}$	masa molecular del $\text{NO}_2$ = 46,008 g
$M_C$	masa atómica del carbono = 12,011 g
$M_H$	masa atómica del hidrógeno = 1,008 g
$P_1$	número de moles de $\text{CO}_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_2$	número de moles de $\text{N}_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_3$	número de moles de $\text{O}_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_4$	número de moles de $\text{H}_2\text{O}$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_5$	número de moles de CO, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_6$	número de moles de $\text{C}_x\text{H}_y$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_7$	número de moles de $\text{NO}_2$ , en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_8$	número de moles de NO, en la muestra de emisiones del escape, por mol de combustible
$P_T$	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$

<i>R</i>	concentración de O <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = 0,2095 (normalmente)
<i>S</i>	concentración de N <sub>2</sub> + gases raros en aire seco, por volumen = 0,7902 (normalmente)
<i>T</i>	concentración de CO <sub>2</sub> en aire seco, por volumen = 0,0003 (normalmente)
<i>P<sub>o</sub></i>	número de moles de aire por mol de combustible en la mezcla inicial aire/combustible
<i>Z</i>	símbolo utilizado y definido en 3.4
[CO <sub>2</sub> ]	concentración media de CO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, volumen de C por volumen total
[CO]	concentración media de CO en la muestra de emisiones del escape, volumen de C por volumen total
[HC]	concentración media de hidrocarburos en la muestra de emisiones de escape, por volumen
[NO]	concentración media de NO en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[NO <sub>2</sub> ]	concentración media de NO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[NO <sub>x</sub> ]	concentración media de NO y NO <sub>2</sub> en la muestra de emisiones del escape, por volumen
[NO <sub>x</sub> ] <sub>c</sub>	concentración media de NO en la muestra de emisiones del escape una vez pasado el convertidor de NO <sub>2</sub> a NO, por volumen
[NO <sub>2</sub> ]	concentración media de $= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$
[ ] <sub>d</sub>	concentración media en la muestra de emisiones del escape, pasado el deshidratador frío, por volumen
[ ] <sub>m</sub>	medida de la concentración media indicada antes de aplicar la corrección del instrumento, por volumen
<i>h<sub>vol</sub></i>	humedad del aire ambiente, vol de agua/vol de aire seco
<i>h<sub>d</sub></i>	humedad de la muestra de emisiones del escape que salen del “secador”, o del “deshidratador frío”, vol de agua/vol de muestra seca
<i>m</i>	número de átomos de C en una molécula característica del combustible
<i>n</i>	número de átomos de H en una molécula característica del combustible
<i>x</i>	número de átomos de C en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
<i>y</i>	número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburo de las emisiones del escape
<i>η</i>	eficacia del convertidor de NO <sub>2</sub> a NO

**2. BASE PARA CALCULAR LOS PARÁMETROS EI Y AFR**

2.1 Se supone que el equilibrio entre la mezcla original de combustible y aire y el estado resultante de las emisiones del escape de las cuales se ha extraído la muestra puede representarse mediante la ecuación siguiente:



a partir de la cual, por definición, los parámetros requeridos se pueden expresar de la forma siguiente:

$$EI(CO) = P_5 \left( \frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left( \frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del metano}$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left( \frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del } NO_2$$

$$AFR = P_0 \left( \frac{M_{AIR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

2.2 A base de la especificación o análisis del combustible se asignan los valores de la composición de hidrocarburos del combustible (*m*, *n*). Si solamente se determina la relación *n/m*, se puede asignar el valor *m* = 12. Normalmente se supone que las fracciones de los moles de los elementos constitutivos del aire seco (*R*, *S*, *T*) corresponden a los valores normales recomendados, si bien pueden asignarse otros valores, a reserva de la restricción *R* + *S* + *T* = 1 y de la aprobación de la autoridad encargada de la certificación.

2.3 La humedad del aire ambiente, *h<sub>vol</sub>*, es la medida en cada ensayo. Se recomienda que, de no existir prueba en contrario en cuanto a la caracterización de los hidrocarburos de las emisiones del escape (*x*, *y*), se asignen valores de *x* = 1 y de *y* = 4.

2.4 La determinación de las incógnitas restantes exige la solución de la serie siguiente de ecuaciones lineales simultáneas, en las que (1) a (4) dimanen de las relaciones fundamentales de conservación atómica, y (5) a (9) representan las relaciones de concentración del producto gaseoso de las emisiones.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[\text{HC}] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[\text{NO}_x] cP_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

Estas ecuaciones condicionales se aplican en el caso de que todas las concentraciones medidas sean verídicas, es decir, que no estén viciadas por interferencias o que requieran corrección para obtener la muestra seca. En la práctica, los efectos de la interferencia suelen manifestarse en grado considerable en las mediciones de CO, NO<sub>x</sub> y de NO, de modo que suele acudir a la medición del CO<sub>2</sub> y del CO, ya sea en seco o en condiciones semisecas. Las modificaciones necesarias de las ecuaciones pertinentes se exponen en 2.5 y 2.6.

2.5 Los efectos de interferencia obedecen sobre todo a la presencia de CO<sub>2</sub> y de H<sub>2</sub>O en la muestra, que pueden afectar a los analizadores del CO y del NO<sub>x</sub> de maneras básicamente distintas. El analizador de CO tiene tendencia a desplazarse al punto cero, en tanto que el analizador de NO<sub>x</sub> experimenta cambios de sensibilidad, representados como sigue:

$$[\text{CO}] = [\text{CP}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$[\text{NO}_x]_c = [\text{NO}_x]_{cm} \left( 1 + L' [\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}] \right)$$

que se transforman en las ecuaciones siguientes de alternativa de (6), (8) y (9), en cuyo caso hay que corregir los efectos de interferencia.

$$[\text{CO}]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NO}_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 La opción de medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de CO a base de una muestra seca o parcialmente seca, o sea con la humedad de muestra reducida a h<sub>d</sub>, requiere el empleo de las ecuaciones condicionales modificadas siguientes:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \quad (5A)$$

y

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Sin embargo, el analizador CO también puede estar viciado por la interferencia descrita en 2.5, de modo que la ecuación completa de alternativa, para la medición de la concentración del CO, pasa a ser:

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

### 3. FÓRMULAS ANALÍTICAS

#### 3.1 Generalidades

Las ecuaciones (1) a (10) pueden reducirse para conseguir las fórmulas analíticas de los parámetros EI y AFR, que figuran en 7.1. Esta reducción constituye un proceso de eliminación progresiva de las raíces de  $P_0$ ,  $P_1$  a  $P_8$ ,  $P_T$ , en el supuesto de que todas las mediciones de la concentración se hayan efectuado con la muestra “húmeda” y de que no requieran correcciones debido a interferencias o por algún otro concepto. En la práctica, a menudo se prefiere efectuar las mediciones de la concentración “seca” o “semiseca” del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{CO}$ . También a menudo, es necesario hacer correcciones para compensar la interferencia. Las fórmulas que han de utilizarse en estas diversas circunstancias se dan en 3.2, 3.3 y 3.4 siguientes.

#### 3.2 Ecuación para convertir las mediciones de la concentración seca a húmeda

Concentración húmeda =  $K \times$  concentración seca es decir:

$$[ ] = K [ ]_d$$

La expresión siguiente de  $K$  se aplica cuando el  $\text{CO}$  y el  $\text{CO}_2$  se determinan “en seco”.

$$K = \frac{\{4 + (n/m)T + ([n/m]T - 2h_{vol})([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol})([y/x] - [n/m])[HC]\}(1 + h_d)}{(2 + h_{vol})\{2 + (n/m)(1 + h_d)([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m]T - 2h_{vol})(1 - [1 + h_d])[CO]_d}$$

#### 3.3 Correcciones debidas a interferencias

Es posible que las mediciones de  $\text{CO}$  y/o de  $\text{NO}_x$  y de  $\text{NO}$  requieran correcciones para anular la interferencia ocasionada por las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y de agua, en la muestra, antes de utilizarlas en estas ecuaciones analíticas. Tales correcciones pueden normalmente expresarse de las formas generales siguientes:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$[\text{CO}]_d = [\text{CO}]_{md} + L[\text{CO}_2]_d + M \left( \frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[\text{NO}] = [\text{NO}]_m (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

$$\eta[\text{NO}_2] = ([\text{NO}_x]_{cm} - [\text{NO}]_m) (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

#### 3.4 Ecuación para calcular el agua de la muestra

Concentración de agua en la muestra

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{([n/2m] + h_{vol}[P_0/m])([\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]) - (y/2x)[\text{HC}]}{1 + T(P_0/m)}$$



donde

$$P_{o/m} = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

y

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - (\square 2/x] - \square y/2x) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

Cabe señalar que en esta estimación es función de las lecturas de los distintos análisis de concentración, que acaso, a su vez, requieran corrección de la interferencia del agua. A fin de lograr mayor precisión, en esos casos se requieren reiterados análisis en los que se vuelve a calcular sucesivamente la concentración de agua hasta obtener la estabilidad requerida. Se soslaya esta dificultad utilizando el método alternativo de solución numérica (4).

#### 4. MÉTODO ALTERNATIVO — SOLUCIÓN NUMÉRICA

4.1 Como alternativa de los procedimientos analíticos resumidos en 3, es posible obtener sin mayor dificultad los índices de emisión, la relación aire/combustible, las concentraciones corregidas de humedad, etc., mediante la solución numérica de las ecuaciones (1) a (10), respecto a cada serie de mediciones, con la ayuda de una computadora digital.

4.2 En la serie de ecuaciones de (1) a (10), las mediciones efectivas de la concentración quedan sustituidas por el empleo de cualesquiera de las ecuaciones de alternativa (5A), (6A), etc., aplicadas respecto a determinado sistema de medición, a fin de tener en cuenta las correcciones de interferencia y/o las mediciones de muestras en seco.

4.3 Existe amplia disponibilidad de combinaciones bidimensionales idóneas y sencillas para resolver ecuaciones con ayuda de computadoras, y su empleo resulta conveniente y flexible a estos efectos, a fin de incorporar e identificar inmediatamente todas las posibilidades de secado de una muestra y las correcciones por interferencia u otras causas.

## ADJUNTO F DEL APÉNDICE 5. ESPECIFICACIONES EN CUANTO A LOS DATOS ADICIONALES

Como se requiere en 3.2 del Apéndice 5, además de las concentraciones medidas de los componentes de las muestras, deberán suministrarse los datos siguientes:

- a) temperatura en la boca de entrada: medida como la temperatura total en un punto distanciado un diámetro del plano de entrada del motor, con una precisión de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- b) humedad en la boca de entrada (kg agua/kg aire seco): medida en un punto situado hasta 15 m, como máximo, del plano de entrada, por delante del motor, con una precisión de  $\pm 5\%$ ;
- c) presión atmosférica: medida hasta 1 km, como máximo, del lugar donde se ensaya el motor y corregida, según sea necesario, a la altitud del banco de pruebas, con una precisión de  $\pm 100$  Pa;
- d) flujo de combustible: por medición directa, con una precisión de  $\pm 2\%$ ;
- e) relación H/C del combustible: definida como  $n/m$ , en la que  $C_mH_n$  constituye la representación equivalente de los hidrocarburos del combustible utilizado para hacer el ensayo y evaluada por referencia al análisis del tipo de combustible del motor;
- f) parámetros del motor:
  - 1) empuje: por medición directa, con una precisión de  $\pm 1\%$  al régimen de despegue y  $\pm 5\%$  a base del empuje mínimo utilizado en la prueba de homologación, con variación lineal entre esos puntos;
  - 2) velocidad(es) de rotación: por medición directa, con una precisión mínima de  $\pm 0,5\%$ ;
  - 3) flujo de aire del generador de gas: determinado con una precisión de  $\pm 2\%$ , por referencia a la calibración de performance del motor.

Los parámetros a), b), d) y f) se determinarán a cada ajuste de potencia para el ensayo de las emisiones, pero el parámetro c) deberá determinarse a intervalos mínimos de una hora, en el transcurso del período que requieran los ensayos de las emisiones.

## **APÉNDICE 6. PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO CON RESPECTO AL HUMO Y A LAS EMISIONES GASEOSAS**

### **1. GENERALIDADES**

Para satisfacer los niveles reglamentarios prescritos en la Parte III, 2.2, 2.3, 3.2 y 3.3 se observarán los principios generales siguientes:

- a) para las pruebas de certificación, el fabricante podrá seleccionar cualquier número de motores, incluso un solo motor, si así lo desea;
- b) la autoridad encargada de la certificación tendrá en cuenta todos los resultados obtenidos durante las pruebas de certificación;
- c) se realizarán como mínimo tres pruebas de motor, de modo que si se somete para certificación un solo motor, éste tendrá que probarse por lo menos tres veces;
- d) si determinado motor se prueba varias veces, el valor medio aritmético de las pruebas se considerará como valor medio de ese motor. El resultado de la certificación ( $X$ ) equivale entonces al promedio de los valores ( $X_i$ ) obtenidos respecto a cada motor probado;
- e) el fabricante facilitará a la autoridad encargada de la certificación los datos prescritos la Parte III, 2.4 ó 3.4, según sea el caso;
- f) los motores sometidos a prueba tendrán las características de emisión correspondientes al tipo de motor respecto al cual se desee la certificación. No obstante, por lo menos uno de los motores responderá fundamentalmente a la norma de fabricación del tipo de motor y tendrá características de operación y de performance enteramente representativas. Uno de esos motores se declarará motor normal de referencia. Los métodos para corregir todo otro motor probado con respecto a este motor normal de referencia, deberán contar con el visto bueno de la autoridad nacional encargada de la certificación. Los métodos para corregir los resultados de las pruebas teniendo en cuenta los efectos ambientales se describen en 7 del Apéndice 3 o en 7 del Apéndice 5, según corresponda.

### **2. PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO**

La autoridad encargada de la certificación concederá un certificado de cumplimiento si la media de los valores medidos y corregidos (respecto del motor normal de referencia y de las condiciones atmosféricas de referencia) para todos los motores probados no sobrepasa el nivel reglamentario cuando se convierta al nivel característico empleando el factor apropiado que se determina mediante el número de motores probados ( $i$ ) que se indica en la tabla a continuación.

*Nota.— El nivel característico del índice de humo o de las emisiones gaseosas equivale a la media de los valores de todos los motores probados, que sólo para las emisiones gaseosas se corrige en forma apropiada con respecto al motor normal de referencia y a las condiciones atmosféricas de referencia, dividida entre el coeficiente correspondiente al número de motores probados, según se indica en la Tabla A6-1.*

**Tabla A6-1. Nivel característico del índice de humo o de las emisiones gaseosas**

Número de motores probados ( <i>i</i> )	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SN
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2
Más de 10	$\frac{1 - 0,130 59}{\sqrt{i}}$	$\frac{1 - 0,247 24}{\sqrt{i}}$	$\frac{1 - 0,096 78}{\sqrt{i}}$	$\frac{1 - 0,157 36}{\sqrt{i}}$

### 3. PROCEDIMIENTO EN CASO DE RECHAZO

*Nota.— Cuando la prueba para la certificación fracasa, esto no significa necesariamente que el tipo de motor no responda a las exigencias, sino quizás que el grado de confianza que merece a la autoridad encargada de la certificación no es suficientemente elevado, es decir, es inferior al 90%. Por consiguiente, debería permitirse al fabricante presentar pruebas adicionales de cumplimiento en cuanto al tipo de motor en cuestión.*

3.1 Si un tipo de motor no satisface la prueba para la certificación, la autoridad competente permitirá al fabricante, si éste lo solicita, realizar pruebas adicionales de los motores presentados para su certificación. Si los resultados totales disponibles todavía no satisfacen las exigencias de la certificación, se permitirá al fabricante que pruebe cuantos motores adicionales desee. Luego, estos resultados se examinarán junto con todos los datos precedentes.

3.2 Si el resultado sigue siendo negativo, se permitirá al fabricante que seleccione uno o más motores para modificarlos. Se estudiarán entonces los resultados de las pruebas ya realizadas del motor (o motores) seleccionado(s) antes de ser modificado(s) y se procederá a nuevas pruebas de modo que, por lo menos, se disponga de tres de ellas. Para cada motor se determinará la media de esas pruebas, que se denominará la “media sin modificar”.

3.3 Posteriormente, el motor (o motores) podrá(n) modificarse, y con el motor (o motores) modificado(s) se realizarán por lo menos tres pruebas, cuya media se denominará, en cada caso, la “media modificada”. Esta “media modificada” se comparará con la “media sin modificar” a fin de obtener un mejoramiento proporcional, que se aplicará al resultado de la prueba previa de certificación para determinar si finalmente se ha logrado el cumplimiento. Cabe señalar que antes de iniciar las pruebas de las emisiones de cualquier motor modificado, deberá determinarse si la modificación satisface las exigencias pertinentes de aeronavegabilidad.

3.4 Este procedimiento se repetirá hasta que quede demostrado el cumplimiento o se retire la solicitud de certificación del tipo de motor.

— FIN —