



DINAC

REPÚBLICA DEL PARAGUAY

DIRECCIÓN NACIONAL DE AERONÁUTICA CIVIL

DINAC R 16
PROTECCIÓN DEL MEDIO
AMBIENTE
VOL. II EMISIONES DE LOS
MOTORES DE LAS
AERONAVES.

*Esta edición fue aprobada por Resolución N° 488/2024-
SEGUNDA EDICIÓN R02- AÑO 2024.-*



RESOLUCIÓN N° 488 /2024

POR LA QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DINAC R 16 PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, VOLUMEN II – EMISIONES DE LOS MOTORES DE LAS AERONAVES, SEGUNDA EDICIÓN AMDT N° 02, AÑO 2024.-----

Asunción, 03 de Abril de 2024

VISTO: El Memorandum GNAGA N° 33/2024 de la Gerencia de Normas de Aeródromos y Ayudas Terrestres, las providencias de la Subdirección de Navegación Aérea, de la Dirección de Aeronáutica; el Dictamen N° 125/2024 de la Asesoría Jurídica (Expdte. DINAC N° 189747); y,-----

CONSIDERANDO: Que, la Gerencia de Normas de Aeródromos y Ayudas Terrestres, eleva a consideración el “Reglamento DINAC R 16 Protección del medio ambiente, Volumen II – Emisiones de los motores de las aeronaves, Segunda Edición AMDT N° 02, Año 2024”; incorporada en esta Edición la enmienda 11 al Anexo 16 Protección del medio ambiente, Volumen II – Emisiones de los motores de las aeronaves de la OACI, el cual es aplicable a partir del 01 de enero de 2024.-----

Que, asimismo informa que se cumplieron todos los procesos previos para la aprobación del citado reglamento, conforme a lo que establece el documento “Reglas para el desarrollo, homologación y enmienda de reglamentos, manuales técnicos y otros documentos”, en el Capítulo 2 para la redacción y aplicación del formato actualizado y en cuanto al Capítulo 3, ítem 3.1 “Desarrollo y aprobación de reglamentos” en el que establece en su inciso c) *Difusión de propuesta: la propuesta debe ser duplicada en el sitio web de la DINAC para conocimiento y análisis de los usuarios y de la industria aeronáutica, por un plazo quince (15) días calendario, previos a su aprobación*”-----

Que, en el inciso d) Análisis de comentarios, numeral 3) menciona: “*de no recibirse comentarios en el plazo establecido se considerará que no hay objeción a la propuesta planteada*”; de igual manera, informar que no se ha recibido comentario ni sugerencia al correo habilitado para el efecto (normas_de_aerodromos@dinac.gov.py).-----

Que, es de vital importancia que dicho documento pueda ser tramitado en la celeridad posible, teniendo en cuenta que la GNAGA se encuentra trabajando arduamente para la Certificación ISO 9001:2015, del proceso denominado “*Elaboración de normas y reglamentos relacionados a la seguridad operacional de los aeródromos y a la protección del medio ambiente*”-----

Que, el Convenio de Chicago en su Art. 37° establece: Adopción de Normas y Procedimientos Internacionales dispone: “*cada Estado contratante se compromete a colaborar, a fin de lograr el más alto grado de uniformidad posible en las reglamentaciones, normas y procedimientos y organización relativos a la aeronave, personal, aerovías y, servicios auxiliares, en todas las cuestiones en que tal uniformidad facilite y mejore la navegación aérea*”. A este fin, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) adoptará y enmendará, en su oportunidad, según sea necesario, las normas, métodos recomendados y procedimientos internacionales que traten de... y otras cuestiones relacionadas con la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea que en su oportunidad puedan considerarse apropiadas”-----

Que, la Ley N° 1860/02 – Código Aeronáutico, en los Artículos 7° y 334 menciona sobre la faculta de la autoridad aeronáutica civil a la aplicación en el ámbito administrativo de las disposiciones del código, su reglamentación y los convenios internacionales, así como lo compete dictar las regulaciones o normas vinculadas a la aeronáutica civil.-----

../2



RESOLUCIÓN N° 488 /2024

POR LA QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DINAC R 16 PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, VOLUMEN II – EMISIONES DE LOS MOTORES DE LAS AERONAVES, SEGUNDA EDICIÓN AMDT N° 02, AÑO 2024.-----

Que, la Subdirección de Navegación Aérea, remite el expediente para su proceso administrativo correspondiente.-----

Que, la Dirección de Aeronáutica eleva el pedido para su consideración.-----

Que, la Asesoría Jurídica recomienda la aprobación del Reglamento DINAC R 16 Protección del medio ambiente, Volumen II – Emisiones de los motores de las aeronaves, Segunda Edición AMDT N° 02, Año 2024, conforme a la disposición vigente.-----

POR TANTO: De conformidad con las atribuciones conferídale por la Ley N° 73/90 “Carta Orgánica de la DINAC” y la Ley N° 2199/2003, “Que dispone la reorganización de los Órganos Colegiados Encargados de la Dirección de Empresas y Entidades del Estado Paraguayo”; la Ley N° 1860/2002 “Código Aeronáutico y su Reglamentación”.-----

**EL PRESIDENTE DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE AERONÁUTICA CIVIL
RESUELVE**

Artículo 1° Aprobar el Reglamento DINAC R 16 Protección del medio ambiente, Volumen II – Emisiones de los motores de las aeronaves, Segunda Edición AMDT N° 02, Año 2024, que se adjunta y forma parte de la presente Resolución.-----

Artículo 2° Disponer que la presente Enmienda entrará en vigencia al día siguiente de la publicación de la presente Resolución en la página web de la DINAC.-----

Artículo 3° La Coordinación General de Tecnología de Información y Comunicación se encargará de publicar en la página web de la DINAC, el citado Reglamento previa coordinación y ajustes con Gerencia de Normas de Aeródromos y Ayudas Terrestres (GNAGA) de la Subdirección de Navegación Aérea (SDNA) para dicha finalidad.-----

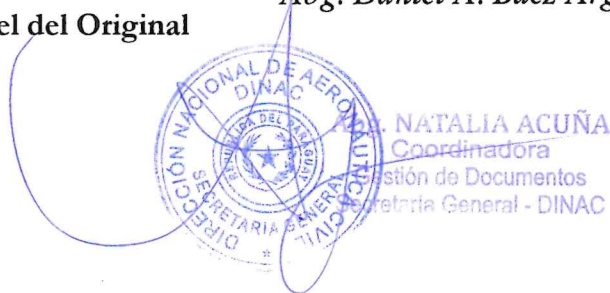
Artículo 4° Dejar sin efecto toda disposición contraria a la presente Resolución.-----

Artículo 5° Comunicar, a quienes corresponda y cumplida archivar.-----

*Fdo. por Don Nelson Mendoza Rolón (Presidente)
Abg. Daniel A. Báez Argaña (Secretario General)*

Es Copia fiel del Original

DBA/v



REGISTRO DE ENMIENDAS.

NÚM.	FECHA DE APLICACIÓN	FECHA DE ANOTACIÓN	ANOTADA POR
01	01/04/2024 AMTD N° 02	Abril 2024	Ing. Amb. Evelyn Centeno
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

INDICE.-

ÍTEM	TEMAS	PÁG.
TAPA		N/A
REGISTRO	ENMIENDAS, CORRIGENDOS Y	I
LISTA	PAGINAS EFECTIVAS.-	II
INDICE		III
REFERENCIAS		IV
PREAMBULO		V
PARTE I	DEFINICIONES Y SIMBOLOS.-	I-1-1
CAPITULO 1	DEFINICIONES.-	2-2
CAPITULO 2	SIMBOLOS.-	1-1
PARTE II	PURGA DE COMBUSTIBLE.-	II-1-1
CAPITULO 1.	ADMINISTRACION.-	1-1
CAPITULO 2.	PREVENCION DE LA PURGA VOLUNTARIA DE COMBUSTIBLE.-	1-1
PARTE III	CERTIFICACION RESPECTO A LAS EMISIONES.-	III-1-1
CAPITULO 1.	ADMINISTRACION.-	2-2
CAPITULO 2.	MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFAN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES EXCLUSIVAMENTE A VELOCIDADES SUBSONICAS.-	III-1-6
2.1	Generalidades.-	1-6
2.2	Humo.-	3-6
2.3	Emisiones Gaseosas.-	3-6
2.4	Datos Necesarios.-	6-6
CAPITULO 3.	MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFAN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES A VELOCIDADES SUPERSONICAS.-	1-4
3.1	Generalidades.-	1-4
3.2	Humo.-	2-4
3.3	Emisiones Gaseosas.-	3-4
3.4	Información requerida.-	3-4
CAPITULO 4.	EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA.-	1-5
4.1	Generalidades.-	1-5
4.2	Emisiones de materia particulada no volátil.-	2-5
4.3	Información requerida	4-5
PARTE IV	EVALUACIÓN DE MATERIA PARTICULADA NO VOLATIL PARA FINES DE INVENTARIO Y MODELIZACIÓN	1-1
APENDICE 1.	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE PRESIÓN DE REFERENCIA	1-1
1.	Generalidades.-	1-1
2.	Medición.-	1-1

APENDICE 2.	EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO.-	1-6
1.	Introducción y definiciones.-	1-6
2.	Medición de las emisiones de humo.-	1-6
2.1	Sonda para recoger las muestras de las emisiones de humo	1-6
2.2	Conducto de muestreo de las emisiones de humo	2-6
2.3	Dispositivos para analizar el humo	2-6
2.4	Características del combustible	4-6
2.5	Procedimientos aplicables a la medición del humo	4-6
3.	Cálculo del índice de humo en base a los datos medidos.-	6-6
4.	Notificación de los datos a la DINAC	6-6
APENDICE 3.	INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS.-	1-20
1.	Introducción.-	1-20
2.	Definiciones.-	1-20
3.	Datos necesarios.-	2-20
3.1	Emisiones gaseosas	2-20
3.2.	Otros datos	2-20
4.	Disposición general del sistema.-	3-20
5.	Descripción de los componentes.-	4-20
5.1	Dispositivo para medir las muestras	4-20
5.2	Analizador HC	5-20
5.3	Analizadores de CO y CO ₂	7-20
5.4	Analizador NO _x	10-20
6.	Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general.-	11-20
6.1.	Funcionamiento del motor	11-20
6.2	Calibración básica de instrumentos	11-20
6.3	Utilización	13-20
6.4	Verificación del equilibrio	15-20
7.	Cálculos.-	15-20
7.1	Emisiones gaseosas	15-20
7.2	Funciones del parámetro regulador (D_P , F_{OO} , π).	18-20
APENDICE 4.	ESPECIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE QUE HA DE UTILIZARSE EN LAS PRUEBAS DE LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DE TURBINA.-	1-1
APENDICE 5.	INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE LOS MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSTCOMBUSTIÓN.-	1-22
1.	Introducción	1-22
2.	Definiciones	1-22
3.	Datos necesarios	2-22

3.1	Emisiones gaseosas	2-22
3.2	Otros datos	2-22
4.	Disposición general del sistema	3-22
5.	Descripción de los componentes	4-22
5.1	Dispositivo para medir las muestras	4-22
5.2	Analizador de HC	7-22
5.3	Analizadores de CO y CO ₂	9-22
5.4	Analizador NO _x	11-22
6.	Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general	13-22
6.1	Funcionamiento del motor	13-22
6.2	Condiciones atmosféricas ambientales	13-22
6.3	Calibración básica de instrumentos	13-22
6.4	Utilización	14-22
7.	Cálculos	16-22
7.1	Emisiones gaseosas	16-22
7.2	Funciones del parámetro regulador (D_p , F_{oo} , π)	20-22
APENDICE 6.	PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO CON RESPECTO A EMISIONES GASEOSAS, HUMO Y EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA	1-3
1.	Generalidades.-	1-3
2.	Procedimiento para certificar el cumplimiento	1-3
2.1	Emisiones gaseosas e índice de humo	1-3
2.2	Emisiones de materia particulada	2-3
2.3	Nivel característico	3-3
3.	Procedimiento en caso de rechazo	3-3
APENDICE 7.	INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL	1-49
1.	Introducción	1-49
2.	Definiciones, Siglas y Símbolos	1-49
2.1	Definiciones	1-49
2.2	Siglas	3-49
2.3	Símbolos	3-49
3.	Datos necesarios	5-49
3.1	Emisiones de nvPM	5-49
3.2	Otra información	5-49
4.	Disposición general del sistema de muestreo y medición de nvPM	7-49
4.1	Sistema de muestreo y medición de nvPM.	7-49
4.2	Parte de recolección	8-49
4.3	Parte de transferencia	11-49
4.4	Parte de medición	11-49
5.	Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general	11-49

5.1	Calibración y mantenimiento	11-49
5.2	Funcionamiento del motor	13-49
5.3	Equilibrio de carbono	13-49
5.4	Utilización del sistema de muestreo y medición de nvPM.	13-49
6.	Cálculos	15-49
6.1	Ecuaciones de la concentración en masa de nvPM y los índices de emisión de nvPM en masa y número	15-49
6.2	Factores de corrección para las emisiones de nvPM	16-49
6.3	Funciones del parámetro regulador	17-49
6.4	Procedimiento de cálculo	18-49
6.5	Excepciones en cuanto a los procedimientos propuestos	19-49
7.	Requisitos y recomendaciones para el sistema de muestreo de nvPM	20-49
7.1	Sección 1: Entrada de la sonda – Entrada del separador 1	20-49
7.2	Sección 2: Entrada del separador 1 – Salida del equipo de dilución	20-49
7.3	Sección 3: Salida del equipo de dilución 1– Entrada del separador ciclónico	23-49
7.4	Sección 4: Salida del separador ciclónico – Entrada del instrumento	23-49
7.5	Sección 5: Medición de nvPM	25-49
8.	Especificaciones y calibración del instrumento de medición de masa de nvPM	26-49
8.1	Especificaciones	26-49
8.2	Método de transmitancia termoóptica (TOT)	27-49
8.3	Procedimiento para demostrar conformidad con las especificaciones de actuación	32-49
8.4	Cálculo de actuación de los instrumentos	35-49
8.5	Calibración	36-49
9.	Especificaciones y calibración del eliminador de partículas volátiles y el instrumento de índice de nvPM	38-49
9.1	Especificaciones	38-49
9.2	Calibración	40-49
10.	Procedimientos para la utilización del sistema	42-49
10.1	Verificación de pérdidas en la parte de recolección y el conducto de gas	42-49
10.2	Verificación de la limpieza en la parte de recolección y el conducto de gas.	42-49
10.3	Verificación de limpieza y pérdidas de la parte de transferencia	43-49
10.4	Purgado de la parte de recolección	44-49
10.5	Medición de nvPM ambiente	45-49
10.6	Verificación de calibración de los factores de dilución del VPR	47-49

APENDICE 8.	PROCEDIMIENTOS PARA ESTIMAR LAS CORRECCIONES POR PÉRDIDAS DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL EN EL SISTEMA.	1-17
1.	Generalidades	1-17
2.	Definiciones, Siglas y Símbolos	2-17
2.1	Definiciones	2-17
2.2	Siglas	3-17
2.3	Símbolos	3-17
3.	Datos necesarios	5-17
3.1	Emisiones de nvPM	5-17
3.2	Otra información	6-17
4.	Metodología y procedimiento de cálculo de la corrección por pérdidas de nvPM en el sistema	6-17
4.1	Descripción	6-17
4.2	Concentración primaria de nvPM en masa	8-17
4.3	Concentración primaria de nvPM en número	8-17
4.4	Funciones de la penetración de nvPM	9-17
4.5	Cálculo de los factores de corrección por pérdidas del sistema	10-17
5.	Notificación y limitaciones	11-17
5.1	Gamas de concentración en masa aplicables	12-17
5.2	Gamas de concentración en número aplicables	12-17
5.3	Diámetros geométricos medios predichos aplicables	13-17
6.	Procedimiento para determinar coeficientes de penetración de componentes individuales del sistema de muestreo y medición de nvPM	13-17
6.1	Coeficientes de penetración por difusión en los segmentos	13-17
6.2	Coeficientes de penetración en las curvas de los segmentos	14-17
6.3	Pérdidas termoforéticas en los segmentos	14-17
6.4	Función de penetración en el separador ciclónico	15-17
6.5	Función de penetración en el VPR	15-17
6.6	Función de penetración en el diluidor 1	16-17
6.7	Eficiencia de conteo de CPC	16-17
ADJUNTO A	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES GASEOSAS — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA	1-5
1.	Símbolos	1-5
2.	Base para calcular los parámetro EI y AFR	3-5
3.	Fórmulas Analíticas	4-5
3.1	Generalidades	4-5
3.2	Ecuación para convertir las mediciones de la concentración de gas seca a húmeda	4-5
3.3	Correcciones debidas a interferencias	5-5
3.4	Ecuación para calcular el agua de la muestra	5-5
4.	Método alternativo – Solución numérica	5-5

ADJUNTO B	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSCOMBUSTIÓN — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA	1-5
1.	Símbolos	1-1
2.	Base para calcular los parametro EI y AFR	3-5
3.	Fórmulas Analíticas	4-5
3.1	Generalidades	4-5
3.2	Ecuación para convertir las mediciones de la concentración de gas seca a húmeda	4-5
3.3	Correcciones debidas a interferencias	5-5
3.4	Ecuación para calcular el agua de la muestra	5-5
4.	Método alternativo – Solución numérica	5-5

LISTA DE PÁGINAS EFECTIVAS.-

ÍTEM	TEMAS	EDICIÓN/ REVISIÓN	PÁG.
TAPA			N/A
REGISTRO	ENMIENDAS, CORRIGENDOS Y		I
LISTA	PAGINAS EFECTIVAS.-	SEGUNDA EDICION	II
INDICE			III
REFERENCIAS			IV
PREAMBULO			V
PARTE I	DEFINICIONES Y SIMBOLOS.-		I-1-1
CAPITULO 1	DEFINICIONES.-	SEGUNDA EDICION	2-2
CAPITULO 2	SIMBOLOS.-		1-1
PARTE II	PURGA DE COMBUSTIBLE.-		II-1-1
CAPITULO 1.	ADMINISTRACION.-	SEGUNDA EDICION	1-1
CAPITULO 2.	PREVENCION DE LA PURGA VOLUNTARIADE COMBUSTIBLE.-		1-1
PARTE III	CERTIFICACION RESPECTO A LAS EMISIONES.-		III-1-1
CAPITULO 1.	ADMINISTRACION.-		2-2
CAPITULO 2.	MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFAN PROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES EXCLUSIVAMENTE A VELOCIDADES SUBSONICAS.-		III-1-6
2.1	Generalidades.-		III-1-6
2.2	Humo.-		III-3-6
2.3	Emisiones Gaseosas.-		III-3-6
2.4	Datos Necesarios.-	SEGUNDA EDICION	III-6-6
CAPITULO 3.	MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFANPROYECTADOS PARA PROPULSAR AERONAVES A VELOCIDADES SUPERSONICAS.-		1-4
3.1	Generalidades.-		1-4
3.2	Humo.-		2-4
3.3	Emisiones Gaseosas.-		3-4
3.4	Información requerida.-		3-4
CAPITULO 4.	EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA.-		1-5
4.1	Generalidades.-		1-5
4.2	Emisiones de materia particulada no volátil.-	SEGUNDA EDICION	2-5
4.3	Información requerida		4-5
PARTE IV	EVALUACIÓN DE MATERIA PARTICULADA NO VOLATIL PARA FINES DE INVENTARIO Y MODELIZACIÓN	SEGUNDA EDICION	1-1

APENDICE 1.	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE PRESIÓN DE REFERENCIA	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-1
1.	Generalidades.-		1-1
2.	Medición.-		1-1
APENDICE 2.	EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO.-	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-6
1.	Introducción y definiciones.-		1-6
2.	Medición de las emisiones de humo.-		1-6
3.	Cálculo del índice de humo en base a los datos medidos.-		6-6
4.	Notificación de los datos a la DINAC		6-6
APENDICE 3.	INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS.-	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-20
1.	Introducción.-		1-20
2.	Definiciones.-		1-20
3.	Datos necesarios.-		2-20
4.	Disposición general del sistema.-		3-20
5.	Descripción de los componentes.-		4-20
6.	Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general.-		11-20
7.	Cálculos.-		15-20
APENDICE 4.	ESPECIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE QUE HA DE UTILIZARSE EN LAS PRUEBAS DE LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DE TURBINA.-	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-1
APENDICE 5.	INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE LOS MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSTCOMBUSTIÓN.-	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-22
1.	Introducción	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-22
2.	Definiciones		1-22
3.	Datos necesarios		2-22
4.	Disposición general del sistema		3-22
5.	Descripción de los componentes		4-22
6.	Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general		13-22
7.	Cálculos		16-22
APENDICE 6.	PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO CON RESPECTO A EMISIONES GASEOSAS, HUMO Y EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-3
1.	Generalidades.-		1-3
2.	Procedimiento para certificar el cumplimiento		1-3
3.	Procedimiento en caso de rechazo		3-3

APENDICE 7.	INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-49
1.	Introducción		1-49
2.	Definiciones, Siglas y Símbolos		1-49
3.	Datos necesarios		5-49
4.	Disposición general del sistema de muestreo y medición de nvPM		7-49
5.	Procedimientos a seguir al hacer el ensayo general		11-49
6.	Cálculos		15-49
7.	Requisitos y recomendaciones para el sistema de muestreo de nvPM		20-49
8.	Especificaciones y calibración del instrumento de medición de masa de nvPM		26-49
9.	Especificaciones y calibración del eliminador de partículas volátiles y el instrumento de índice de nvPM		38-49
10.	Procedimientos para la utilización del sistema	42-49	
APENDICE 8.	PROCEDIMIENTOS PARA ESTIMAR LAS CORRECCIONES POR PÉRDIDAS DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL EN EL SISTEMA.	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-17
1.	Generalidades		1-17
2.	Definiciones, Siglas y Símbolos		2-17
3.	Datos necesarios		5-17
4.	Metodología y procedimiento de cálculo de la corrección por pérdidas de nvPM en el sistema		6-17
5.	Notificación y limitaciones		11-17
6.	Procedimiento para determinar coeficientes de penetración de componentes individuales del sistema de muestreo y medición de nvPM	13-17	
ADJUNTO A	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES GASEOSAS — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-5
1.	Símbolos		1-5
2.	Base para calcular los parametro EI y AFR		3-5
3.	Fórmulas Analíticas		4-5
4.	Método alternativo – Solución numérica	5-5	
ADJUNTO B	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSCOMBUSTIÓN — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA	<i>SEGUNDA EDICION</i>	1-5
1.	Símbolos		1-1
2.	Base para calcular los parametro EI y AFR		3-5
3.	Fórmulas Analíticas		4-5
4.	Método alternativo – Solución numérica	5-5	

REFERENCIA.

- Doc. OACI 7300 Convenio sobre Aviación Civil Internacional
- **Enmienda Núm. 5** del Anexo 16 Protección del medio ambiente, Vol.II - EMISIONES DE LOS MOTORES DE LAS AERONAVES – OACI -JULIO de 2023.-
- Ley N° 1860/2002 - Código Aeronáutico Paraguayo.
- Ley N° 73/1990 - Carta Orgánica de la DINAC.
- Ley N° 2199/2003 “Que dispone la reorganización de los órganos colegiados encargados de la Dirección de Empresas y Entidades del Estado Paraguayo”.
- Ley N° 1626/2000 “De la Función Pública”.
- Doc. OACI 9713 Vocabulario de Aviación Civil Internacional.
- “DINAC R 00 DESARROLLO Y ENMIENDA DE Reglamentos, Manuales y Circulares De Asesoramiento” Tercera Edición – Año 2023

PREÁMBULO

PRÓLOGO

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:

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

“LA ASAMBLEA” 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;”

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.

Este Reglamento ha sido elaborado en relación al ANEXO 16 – Protección al Medio Ambiente, Vol. II – Emisiones de los motores de las aeronaves a fin de garantizar la regulación de las emisiones de los motores de las aeronaves en el Territorio Paraguayo, encargado de la regulación de su aplicación por medio de las áreas normativas y de Medio Ambiente habilitadas para tal efecto.-

La Parte I del Volumen II del reglamento 16 contiene definiciones y símbolos, 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 de cada uno de los capítulos de esta parte, cuando esos motores se instalan en aeronaves que se dedican a la aviación civil internacional. La Parte IV contiene recomendaciones para evaluar la materia particulada no volátil con fines de inventario y modelización

PARTE I. DEFINICIONES Y SIMBOLOS

CAPÍTULO 1. DEFINICIONES

DEFINICIONES

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

CERTIFICADO DE TIPO: Documento expedido por la DINAC para definir el diseño de un tipo de aeronave, motor o hélice y certificar que dicho diseño satisface los requisitos pertinentes de aeronavegabilidad del Estado.

Nota 1.- *En algunos Estados contratantes puede expedirse un documento equivalente al certificado de tipo para un tipo de motor o hélice.*

Nota 2.- *En algunos Estados contratantes el certificado de tipo también puede certificar usarse para documentar que el diseño cumple los requisitos de emisiones de motores de aeronaves apropiados para ese Estado.*

EMPUJE NOMINAL: A los efectos de las emisiones de los motores, significa el empuje de despegue máximo aprobado por la DINAC que ha de aplicarse en condiciones normales de operación y en condiciones estáticas al nivel del mar, a la atmosfera tipo internacional (ISA), y sin utilizar inyección de agua. El empuje se expresa en kilonewtons.

ESTADO DE DISEÑO: Estado que tiene jurisdicción sobre la entidad responsable del diseño de tipo.

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.

INDICE DE HUMO: Termino adimensional que cuantifica las emisiones de humo (véase 3 del Apéndice 2)

MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL (nvPM): Partículas emitidas que existen en el plano de salida de la tobera de escape del motor de turbina de gas que no se volatilizan al calentarse hasta una temperatura de 350 °C.

ÓXIDOS DE NITROGENO: La suma de las partes de óxido nítrico y de bióxido de nitrógeno contenidas en una muestra de gas, calculada como si el óxido nítrico estuviese presente en forma de bióxido de nitrógeno.

POSTCOMBUSTIÓN: Modalidad de utilización de un motor con un sistema de combustión alimentados (total o parcialmente) con aire viciado.

PROCEDIMIENTO EQUIVALENTE: Un procedimiento equivalente es un procedimiento de ensayo o análisis que, aunque difiera del especificado en el Reglamento 16, Volumen II, según el criterio técnico de la DINAC, arroja efectivamente los mismos resultados en cuanto a niveles de emisiones que el procedimiento especificado.

Nota.- Algunos procedimientos equivalentes están documentados en el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones. Todos los procedimientos equivalentes y su utilización están sujetos a la aprobación de la DINAC.

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 atmosfera 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 aquel 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 dimane y cuyos otros factores, a juicio de la DINAC, no hayan variado.

Nota.- Existe Se hace notar la una diferencia entre la definición de “versión derivada de una aeronave ” utilizada que figura en el Volumen I del Reglamento 16, Volumen I — Ruido de las aeronaves, que se refiere a modificaciones en el diseño de los aviones que pueden afectar a las características del ruido del avión, y la definición de “versión derivada” incluida utilizada en el presente volumen, que se refiere a modificaciones en el diseño de los aviones que pueden afectar a las características de las emisiones.

CAPÍTULO 2. SIMBOLOS

Los símbolos que siguen, utilizados en el Volumen II de este Reglamento, 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
F _{oo}	Empuje nominal (véase definición)
F* _{oo}	Empuje nominal con postcombustión
HC	Hidrocarburos sin quemar (véase definición)
NO	Óxido nítrico
NO ₂	Bióxido de nitrógeno (véase definición)
nvPM	Materia particulada no volátil (véase definición)
SN	Índice de humo (véase definición)
π _{oo}	Relación de presión de referencia (véase 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 otorgara, en base a pruebas convincentes, la DINAC, al efecto de que ya sea la aeronave o los motores de esta, 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 DINAC.*
- 1.3. La DINAC reconocerá como valido 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 Reglamento.

CAPÍTULO 2. PREVENCIÓN DE LA PURGA VOLUNTARIA DE COMBUSTIBLE

Las aeronaves se deben proyectar y construir 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 1.5 se debe aplicar a todos los motores y sus versiones derivadas correspondientes a las clasificaciones definidas en los capítulos 2, 3 y 4 en materia de certificación respecto a las emisiones, cuando esos motores se utilicen en aeronaves dedicadas a la navegación aérea internacional.
- 1.2. La DINAC debe conceder 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 Reglamento. El cumplimiento de los niveles de emisión de los capítulos 2, 3 y 4 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 DINAC encargada de la certificación.-*
- 1.3. Todo documento que atestigüe la certificación respecto de cada motor debe contener, por lo menos, los datos siguientes, aplicables al tipo de motor de que se trate:
- a) La designación oficial de la DINAC;
 - 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 atinentes a los contaminantes gaseosos;
 - h) Una declaración de cumplimiento de los requisitos atinentes a la materia particulada.
- 1.4. La DINAC reconocerá 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 Reglamento.
- 1.5. La DINAC reconocerá como válidas las exenciones de motores que otorgue la autoridad competente de otro Estado contratante que tenga jurisdicción respecto de la entidad responsable de la producción del motor, siempre y cuando se haya seguido un proceso aceptable.

Nota.- En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II- Procedimientos para la certificación de motores de aeronaves respecto a las emisiones, se proporcionan orientación relativa a los procesos y criterios aceptables para el otorgamiento de exenciones.-

- 1.6.** Salvo indicación distinta en este volumen, la fecha que se ha de utilizar para determinar la aplicabilidad de las normas de este Reglamento será la fecha en que se presentó al Estado de diseño la solicitud de certificado de tipo para motores de un tipo o modelo, o la fecha de solicitud conforme a un proceso equivalente prescrito por la DINAC.
- 1.7.** La solicitud de certificado de tipo para motores de su tipo o modelo tendrá efecto durante el periodo especificado en la designación de los reglamentos de aeronavegabilidad apropiados para el motor de un tipo o modelo, excepto en casos especiales en los que la DINAC acepte una prolongación de ese periodo. Cuando se sobrepase el periodo de efectividad y se aprueba una prolongación, la fecha que se ha de utilizar para determinar la aplicabilidad de las normas de este Reglamento será la fecha de expedición del certificado de un tipo o de aprobación de la modificación del diseño de tipo, o la fecha de expedición de la aprobación conforme a un proceso equivalente prescrito por el Estado de diseño, menos el periodo de efectividad.
- 1.8.** En aquellos casos en que la configuración del motor u otras condiciones atenuantes impidan o limiten la aplicación de los procedimientos de los apéndices 2, 3, 5 o 7, la DINAC podrá aprobar procedimientos equivalentes, una vez que haya recibido pruebas técnicas convincentes de que el uso de esos procedimientos equivalentes arroja efectivamente los mismos resultados en cuanto a niveles de emisiones. Todos esos procedimientos equivalentes estarán sujetos a la aprobación de la DINAC.

CAPÍTULO 2. MOTORES TURBORREACTORES Y TURBOFAN 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 aplica a todos los motores turbo reactores y turbofán, como se especifica en 2.2 y 2.3, proyectados para propulsar aeronaves exclusivamente a velocidades subsónicas, salvo cuando la DINAC o la autoridad competente con jurisdicción respecto de la entidad responsable de la producción de los motores otorgue exenciones para:

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

2.1.1.2. En tales casos, la DINAC o la autoridad competente con jurisdicción respecto de la entidad responsable de la producción de los motores expedirá el documento de exención, se marcará “EXENTO” en las placas de identificación de los motores y el otorgamiento de la exención se documentará en el registro permanente del motor. La DINAC o la autoridad competente con jurisdicción respecto de la entidad responsable de la producción de los motores tendrá en cuenta el número de motores exentos que se producirán y su impacto en el medio ambiente. Las exenciones se notificarán por medio de un número de serie del motor y se proporcionarán por conducto de un registro público oficial.

Al otorgar estas exenciones, la DINAC o la autoridad competente con jurisdicción sobre la entidad responsable de la producción de los motores deben considerar la conveniencia de imponer un plazo límite para la fabricación de esos motores.

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

2.1.1.3. Las disposiciones de este capítulo se aplicarán igualmente a los motores destinados para usos que de otro modo se reservarían a los motores turbo reactores y turbofán y que estén diseñados como sistemas propulsores integrados certificados con empuje nominal.

Nota. - *El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones, contiene orientación.*

2.1.2. Emisiones de que se trata

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

- a) Humo
- b) Emisiones gaseosas
 - i. Hidrocarburos sin quemar (HC);
 - ii. Monóxido de carbono (CO); y
 - iii. Óxidos de nitrógeno (NOx).

2.1.3. Unidades de medida para la notificación. -

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

2.1.3.2. Se notificará en gramos la masa (D_p) de los contaminantes gaseoso HC, CO o NOx 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 para la performance del motor se basarán en la atmosfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar, pero la humedad de referencia será de 0,00634 kg de agua/kg de aire seco.

2.1.4.2. Reglaje del empuje. -

El motor se debe ensayar 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 las emisiones y los índices de humo a los siguientes porcentajes específicos del empuje nominal, según lo disponga la DINAC.

<i>Modalidad de utilización LTO</i>	<i>Reglaje del empuje</i>
<i>Despegue</i>	<i>100% F_{∞}</i>
<i>Ascenso</i>	<i>85% F_{∞}</i>
<i>Aproximación</i>	<i>30% F_{∞}</i>
<i>Rodaje/marcha lenta en tierra</i>	<i>7% F_{∞}</i>

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

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 deben realizar 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 deben corregir 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:

a) Los motores fabricados a partir del 1 de enero de 1983 pero antes del 1 de enero de 2023; y

b) Los motores con empuje nominal igual o inferior a 26,7 kN cuya fecha de fabricación sea el 1 de enero de 2023 o fecha posterior.

Nota. - Los motores con un empuje nominal superior a 26,7 kN, incluidas sus versiones derivadas con un empuje nominal superior a 26,7 kN, certificados originariamente en el Índice de humo reglamentario especificado en 2.2.2 y cuya fecha de fabricación sea el 1 de enero de 2023 o una fecha posterior, no tienen que cumplir las disposiciones de 2.2.2. En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones figuran orientaciones al respecto.

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, y se convierta un nivel característico mediante los procedimientos del apéndice 6, no podrá superar el nivel calculado a base de la fórmula siguiente:

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

O un valor de 50, el que sea menor

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 26,7kN 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 de apéndice 3 y se conviertan a los niveles característicos mediante los procedimientos del apéndice 6, no podrán superar los niveles reglamentarios calculados a base de las siguientes fórmulas:

Hidrocarburos (HC): $D_p/F_\infty = 19,6$

Monóxido de carbono (CO): $D_p/F_\infty = 118$

Óxidos de nitrógeno (NOx):

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

$$D_p/F_\infty = 40 + 2\pi_\infty$$

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

$$D_p/F_\infty = 32 + 1,6\pi_\infty$$

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

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

- i. Para motores con un empuje nominal de más de 89,0 kN.

$$D_p/F_\infty = 19 + 1,6\pi_\infty$$

- ii. Para motores con un empuje nominal de más de 26,7 kN, pero no más de 89,0 kN.

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

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

- i. Para motores con empuje nominal de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_\infty = 7 + 2,0\pi_\infty$$

- ii. Para motores con empuje nominal de más de 26,7 kN, pero no más de 89,0 kN:

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

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

$$D_p / F_\infty = 32 + 1,6\pi_\infty$$

- d) Para los motores cuya fecha de fabricación del primer modelo individual sea 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 referencia de 30 o menos:

- i. Para motores con empuje nominal de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_\infty = 16,72 + 1,4080\pi_\infty$$

- ii. Para motores con un empuje nominal de más de 26,7 kN, pero no más de 89,0 kN:

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

- 2) Para motores con relación de presión de referencia de más de 30 pero menos de 82,6:

- i. Para motores con empuje nominal de más de 89,0 kN:

$$D_p/F_\infty = -1,04 + 2,0\pi_\infty$$

- ii. Para motores con empuje nominal de más de 26,7 kN, pero no más de 89,0 kN:

$$D_p/F_\infty = 46,1600 + 1,428\pi_\infty - 0,5303F_\infty + 0,00642\pi_\infty F_\infty$$

- 3) Para motores con relación de presión de referencia de 82,6 o más:

$$D_p/F_\infty = 32 + 1,6\pi_\infty$$

- e) Para los motores cuya fecha de fabricación del primer modelo individual es el 1 de enero de 2014 o después de esa fecha y para los que se haya presentado una solicitud de certificado de tipo antes del 1 de enero de 2023:

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

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

$$D_p/F_\infty = 7,88 + 1,4080\pi_\infty$$

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

$$D_p/F_\infty = 40,052 + 1,568\pi_\infty - 0,3615F_\infty - 0,0018\pi_\infty F_\infty$$

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

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

$$D_p/F_\infty = -9,88 + 2,0\pi_\infty$$

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

$$D_p/F = 41,9435 + 1,505\pi_\infty - 0,5823F_\infty + 0,005562\pi_\infty F_\infty$$

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

$$D_p/F_\infty = 32 + 1,6\pi_\infty$$

- f) Para los motores de un tipo o modelo para los que se presente una solicitud de certificado de tipo el 1 de enero de 2023 o después de esa fecha:

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

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

$$D_p/F_\infty = 7,88 + 1,4080\pi_\infty$$

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

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

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

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

$$D_p/F_\infty = -9,88 + 2,0\pi_\infty$$

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

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

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

$$D_p/F_\infty = 32 + 1,6\pi_\infty$$

2.4. INFORMACIÓN REQUERIDA

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 debe proporcionar la información siguiente respecto a cada tipo de motor de cuyas emisiones se solicite la certificación:

- a) designación del motor;
- b) empuje nominal (kN);
- c) relación de presión de referencia;
- d) relación 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 debe proporcionar 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 (kg/s);
- b) índice de emisión (gramos/kg) 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 debe proporcionar la información deducida siguiente:

- a) la tasa de emisiones, es decir, el índice de emisión multiplicado por el flujo de combustible (gramos/s) de cada contaminante gaseoso;
- b) las emisiones bruta total de cada contaminante gaseoso medido durante el ciclo LTO (gramos);
- c) los valores D_p/F_∞ de cada contaminante gaseoso (gramos/kN); 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 debe proporcionar el índice de humo característico y los niveles de emisión de los contaminantes gaseosos.

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

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Campo de aplicación. -

Las disposiciones del presente capítulo se aplican a todos los motores turbo reactores 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 verifican las siguientes emisiones:

Humo

Emisiones gaseosas:

- Hidrocarburos sin quemar (HC)
- Monóxido de carbono (CO); y
- Óxidos de nitrógeno (NOx).

3.1.3. Unidades de medida. -

3.1.3.1. Las emisiones de humo se deben medir y notificar en base al índice de humo (SN).

3.1.3.2. Se deben medir y notificar en gramos la masa (D_p) de los contaminantes gaseosos HC, CO, NOx 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_{00} en vez de F^*_{00} . Cuando se trate del rodaje/marcha lenta, siempre se utilizará F_{00} .

3.1.5. Condiciones de referencia. -

3.1.5.1. Condiciones atmosféricas. -

Las condiciones atmosféricas de referencia se basan en la atmosfera 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 debe ensayar 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 corregidos a las condiciones ambientales de referencia, a los siguientes porcentajes específicos del empuje nominal, según lo disponga la DINAC.

<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>Modalidad de utilización LTO</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 debe ajustar a las especificaciones del Apéndice 4, y no deberán contener aditivos mezclados con objeto de suprimir el humo (tales como los compuestos orgánicos-metálicos).

3.1.6. Condiciones de la prueba. -

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 prescrito en 3.1.5.2, se efectuarán, cuando sea el caso, empleando el postcombustor al nivel utilizado normalmente.

3.1.6.4. 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 procedimientos del 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 de Apéndice 2 y se convierta a un nivel característico mediante los procedimientos del Apéndice 6, no debe superar el nivel calculado en base a la siguiente fórmula:

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

O un valor de 50, el que sea menor

Nota. - La DINAC puede, asimismo, aceptar los valores obtenidos empleando la postcombustión, 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 de apéndice 3 o apéndice 5, según corresponda, y se conviertan a los niveles característicos mediante los procedimientos del Apéndice 6, no deben superar los niveles reglamentarios calculados en base de las siguientes fórmulas:

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

$$\text{Monóxido de carbono (CO):} \quad D_p/F^*_{oo} = 4550 (\pi_{oo})^{-1,03}$$

$$\text{Óxido de nitrógeno (NOx):} \quad D_p/F^*_{oo} = 36 + 2,42 \pi_{oo}$$

Nota.- El nivel característico del índice de humo o de las emisiones de los contaminantes gaseosos equivale a la medida 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. INFORMACIÓN REQUERIDA

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 debe proporcionar la siguiente información respecto a cada tipo de motor de cuyas emisiones se solicite la certificación:

- a) designación el motor;
- b) empuje nominal (kN);
- c) empuje nominal con postcombustión, si corresponde (kN)
- d) relación de presión de referencia;
- e) referencia de la especificación del combustible;
- f) relación hidrógeno/carbono del combustible;
- g) método 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 debe proporcionar la información, correspondiente a cada uno de los reglajes del empuje prescritos en 3.1.5.2. Esta información será proporcionada una vez corregida con respecto a las condiciones ambientales de referencia, cuando corresponda;

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

3.4.3. Información deducida. -

3.4.3.1. Sobre cada motor que se pruebe para certificación, se debe proporcionar la siguiente información:

- a) la tasa de emisión, es decir, el índice de emisión multiplicado por el flujo de combustible (gramos/s) de cada contaminante;
- b) la emisión bruta total de cada contaminante gaseoso medido durante el ciclo LTO (gramos);
- c) los valores D_p/F_{∞} de cada contaminante gaseoso (gramos/kN); 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 debe proporcionar 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.*

CAPÍTULO 4. EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA

4.1. GENERALIDADES

4.1.1. Aplicabilidad. -

4.1.1.1. Las disposiciones del presente capítulo serán aplicables a todos los motores de aeronave, como se especifica en más detalle en 4.2, diseñados para propulsión solo a velocidades subsónicas.

4.1.1.2. Se aplicarán las disposiciones específicas para las categorías de motores pertinentes detalladas en la sección 4.2, excepto cuando la autoridad encargada de la certificación o la autoridad competente con jurisdicción respecto de la entidad responsable de la producción de los motores otorgue exenciones a un número limitado de motores por un período específico más allá de las fechas de aplicación fijadas en 4.2 para la fabricación del motor individual.

4.1.1.3. En tales casos, la autoridad encargada de la certificación o la autoridad competente con jurisdicción sobre la entidad responsable de la producción de los motores expedirá el documento de exención, se marcará “EXENTO” en las placas de identificación de los motores y el otorgamiento de la exención se anotará en el registro permanente del motor. La autoridad encargada de la certificación o la autoridad competente con jurisdicción respecto de la entidad responsable de la producción de los motores tendrá en cuenta el número de motores exentos que han de producirse y su impacto en el medio ambiente. Las exenciones se notificarán por número de serie del motor y se darán a publicidad mediante un registro público oficial.

Al otorgar estas exenciones, la autoridad encargada de la certificación o la autoridad competente con jurisdicción sobre la entidad responsable de la producción de los motores debería considerar la conveniencia de imponer un plazo límite para la fabricación de esos motores.

Nota. - *El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves, contiene más orientación sobre el otorgamiento de exenciones.*

4.1.2. Emisiones de que se trata.-

La finalidad de esta sección es controlar las emisiones de masa de materia particulada no volátil (nvPM)

4.1.3. Unidades de medida para la notificación. -

4.1.3.1. La concentración en masa de nvPM se notificará expresada en microgramos/m³.

4.1.3.2. La masa de nvPM emitida durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones de referencia, definido en 4.1.4.2 (LTO_{mass}), se notificará en miligramos.

4.1.3.3. El número de nvPM emitidas durante el ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones, definido en 4.1.4.2 (LTO_{num}), se notificará en número de partículas.

4.1.4. Condiciones de referencia. -

4.1.4.1. Condiciones atmosféricas.-

Las condiciones atmosféricas de referencia para el motor normal de referencia serán en atmósfera tipo internacional (ISA) al nivel del mar con la excepción de que el valor de referencia de la humedad será de 0,00634 kg de agua/kg aire seco.

4.1.4.2. Ciclo de referencia de aterrizaje y despegue (LTO) para las emisiones

El motor se ensayará a un número suficiente de reglajes del empuje a fin de determinar las características de las emisiones de nvPM del motor, de modo que puedan determinarse los índices de emisión en masa ($E_{I_{mass}}$) y los índices de emisión en número ($E_{I_{num}}$) de nvPM a los reglajes de empuje del ciclo LTO de referencia y a empujes que produzcan la concentración máxima de nvPM en masa, un $E_{I_{mass}}$ máximo y un $E_{I_{num}}$ máximo según lo disponga la autoridad encargada de la certificación.

En el cálculo y notificación de las emisiones de nvPM, el ciclo LTO de referencia se representará con el siguiente reglaje de empuje y tiempo para cada una de las modalidades de utilización indicadas:

Modalidad de utilización LTO	Reglaje del empuje por cien F_{oo}	Tiempo en la modalidad (en minutos)
Despegue	100	0,7
Ascenso	85	2,2
Aproximación	30	4,0
Rodaje/marcha lenta en tierra	7%	26,0

4.1.4.3. Especificaciones en cuanto al combustible. -

El combustible empleado durante las pruebas debe cumplir las especificaciones del apéndice 4.

4.1.5. Condiciones de las pruebas. -

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

4.1.5.2. 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 necesarios para el funcionamiento básico del motor.

4.1.5.3. Cuando las condiciones de las pruebas difieran de las condiciones atmosféricas de referencia previstas en 4.1.4.1, se corregirán $E_{I_{mass}}$ y $E_{I_{num}}$ respecto de la temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión del motor en las condiciones atmosféricas de referencia conforme a los procedimientos indicados en el apéndice 7.

4.2. EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL

4.2.1. Aplicabilidad.-

4.2.1.1. Las disposiciones que se detallan en 4.2.2 y 4.2.3 se aplicarán a todos los motores turbofán y turborreactores de un tipo o modelo que tengan un empuje nominal mayor que 26,7 kN.

4.2.1.2. Las disposiciones de este capítulo se aplicarán igualmente a los motores destinados para usos que de otro modo se reservarán a los motores turborreactores y turbofán y que estén diseñados como sistemas propulsores integrados y certificados con empuje nominal.

4.2.2. Niveles reglamentarios.-

4.2.2.1. Concentración máxima en masa de nvPM

Para los motores cuya fecha de fabricación sea el 1 de enero de 2020 o posterior, la concentración máxima en masa nvPM obtenida de mediciones a suficientes reglajes de empuje, de modo que el máximo de emisiones se determine y calcule conforme a los procedimientos del apéndice 7 y se convierta a un nivel característico mediante los procedimientos del Apéndice 6 o no podrá superar el nivel reglamentario calculado según la fórmula siguiente:

Límite reglamentario de la concentración en masa de nvPM = $10^{(3 + 2,9 F_{oo} - 0,274)}$

Nota 1.- Puesto que existe correlación entre la concentración en masa de nvPM y el índice de humo, el nivel reglamentario definido en 4.2.2.1 se derivó del nivel reglamentario de índice de humo. En el **Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II - Procedimientos para la certificación de los motores de las aeronaves respecto a las emisiones**, figura información adicional.

Nota 2.- Las disposiciones de 4.2.2.1 se aplican a los motores con un empuje nominal superior a 26,7 kN cuya fecha de fabricación sea el 1 de enero de 2020 o una fecha posterior. Por consiguiente, estas disposiciones se aplican también a motores con un empuje nominal superior a 26,7 kN, incluidas sus versiones derivadas con un empuje nominal superior a 26,7 kN, certificados originariamente en el Índice de humo reglamentario especificado en **2.2.2 del capítulo 2**, que no tienen que cumplir las disposiciones de **2.2.2 del capítulo 2** si se fabricaron el 1 de enero de 2023 o en una fecha posterior. En el **Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones** figuran orientaciones al respecto.

4.2.2.2. Masa y número de nvPM emitidas durante el ciclo de referencia LTO

Los niveles en masa y número de emisiones de nvPM medidos y calculados siguiendo los procedimientos del apéndice 7 y convertidos a los niveles característicos siguiendo los procedimientos del apéndice 6 no superarán los niveles reglamentarios que se determinen por aplicación de las siguientes formulas:

a) LTO_{mass} :

- 1) Para los motores de cuya fecha de fabricación sea el 1 de enero de 2023 o fecha posterior:
 - i. Para motores con empuje nominal superior a 200kN.
 $LTO_{mass}/F_{oo} = 347,5$
 - ii. Para motores con empuje nominal superior a 26,7 kN pero no superior a 200kN.
 $LTO_{mass}/F_{oo} = 4646,9 - 21,497F_{oo}$
- 2) Para los motores de un tipo o modelo para los que se presente la solicitud del certificado de tipo el 1 de enero de 2023 o en fecha posterior:
 - i. Para motores con empuje nominal superior a 150kN.
 $LTO_{mass}/F_{oo} = 214,0$
 - ii. Para motores con empuje nominal superior a 26,7 kN pero no superior a 150kN.
 - iii. $LTO_{mass}/F_{oo} = 1251,1 - 6,914F_{oo}$

b) LTO_{num} :

1) Para los motores cuya fecha de fabricación sea el 1 de enero de 2023 o fecha posterior:

i. Para motores con empuje nominal superior a 200kN.

$$LTO_{num}/F_{oo} = 4,170 \times 10^{15}$$

ii. Para motores con empuje nominal superior a 26,7kN, pero no superior a 200kN:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 2,669 \times 10^{16} - 1,126 \times 10^{14}F_{oo}$$

2) Para los motores de un tipo o modelo para los que se presente la solicitud del certificado de tipo el 1 de enero de 2023 o en fecha posterior:

i. Para motores con empuje nominal superior a 150kN:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 2,780 \times 10^{15}$$

ii. Para motores con empuje nominal superior a 26,7 kN pero no superior a 150kN:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 1,490 \times 10^{16} - 8,080 \times 10^{13}F_{oo}$$

4.2.3. Requisito de notificación. -

El fabricante deberá notificar los siguientes valores de emisiones de nvPM medidas y calculadas conforme a los procedimientos del apéndice 7:

a) E_{mass} máximo (miligramos/kg de combustible); y

b) E_{num} máximo (partículas/kg de combustible).

4.3. INFORMACIÓN REQUERIDA

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) la información deducida

4.3.1. Información general.-

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

a) designación del motor;

b) empuje nominal (kN);

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; y

g) método de análisis de los datos.

4.3.2. Información sobre las pruebas. -

4.3.2.1. Se proporcionará la información siguiente respecto a cada uno de los motores que se sometan a prueba para fines de certificación:

a) calor neto de la combustión del combustible (MJ/kg);

b) contenido de hidrogeno del combustible (porcentaje de masa);

c) contenido total de aromáticos del combustible (porcentaje de volumen);

- d) contenido de naftalinas en el combustible (porcentaje de volumen); y
- e) contenido de azufre en el combustible (ppm por masa).

4.3.2.2. Para cada motor sometido a prueba para fines de certificación se proporcionará la información siguiente, medida y calculada según los procedimientos del apéndice 7:

- a) flujo de combustible (kg/s) con cada reglaje de empuje del ciclo LTO;
- b) E_{mass} (miligramos/kg de combustible) con cada reglaje de empuje del ciclo LTO;
- c) E_{num} (partículas/kg de combustible) con cada reglaje de empuje del ciclo LTO.

4.3.3. Información deducida.-

4.3.3.1. Se proporcionará la información deducida siguiente respecto de cada motor sometido a prueba para fines de certificación:

- a) la tasa de emisiones, es decir, $E_{mass} \times$ flujo de combustible, (miligramos/s) en masa de nvPM;
- b) la tasa de emisiones, es decir, $E_{num} \times$ flujo de combustible, (partículas/s) en número de nvPM;
- c) las emisiones brutales totales en masa de nvPM medida a lo largo del ciclo LTO (miligramos);
- d) las emisiones brutales totales en número de nvPM a lo largo del ciclo LTO (partículas);
- e) los valores de LTO_{mass}/F_{oo} (miligramos/kN);
- f) los valores de LTO_{num}/F_{oo} (partículas/kN); y
- g) la concentración máxima de nvPM como masa (microgramos/m³).

4.3.3.2. Se proporcionará los niveles característicos de concentración máxima de nvPM como masa, LTO_{mass}/F_{oo} y LTO_{num}/F_{oo} de cada tipo de motor cuyas emisiones se busque certificar.

PARTE IV. EVALUACIÓN DE MATERIA PARTICULADA NO VOLATIL PARA FINES DE INVENTARIO Y MODELIZACIÓN

Nota. - *Los factores de corrección de pérdidas de masa y número de nvPM del sistema permiten estimar la concentración en masa y número de nvPM en el escape del motor de la aeronave a partir de la concentración en masa y número de nvPM obtenida mediante los procedimientos descritos en el apéndice 7.*

Para los motores de un tipo o modelo que deban cumplir las disposiciones de la parte III, capítulo 4, y cuya fecha de fabricación individual sea el 1 de enero de 2023 o fecha posterior, los factores de corrección por pérdidas de nvPM en masa y número del sistema (k_{SL_mass} y k_{SL_num}), y los valores de $E_{I_{mass}}$ y $E_{I_{num}}$ corregidos por el efecto de las pérdidas del sistema se estimarán de conformidad con los procedimientos del apéndice 8 o con procedimientos alternativos que disponga la DINAC. Las estimaciones resultantes para los valores de k_{SL_mass} , k_{SL_num} , $E_{I_{mass}}$ y $E_{I_{num}}$ se notificarán a la DINAC.

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 o las relaciones de presión medidas con el empuje del motor corregido a la presión ambiente del día tipo, y leyendo en el grafico 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 DINAC.

APÉNDICE 2. EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE HUMO

1. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

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

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

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/m² 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, calculado según se indica en 3. de este Apéndice, corresponde a la definición de tamaño de la muestra.

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 referencia, definido en 3. de este Apéndice.

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.-

La sonda de muestreo debe satisfacer los siguientes requisitos:

- 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 de muestreo con orificios de muestreo múltiples:
 - 1) todos los orificios tendrán el mismo diámetro; y
- 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 0,5 de la tobera.

- e) El solicitante demostrara a la DINAC, 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. Estos deberán ser de algún material que evite la acumulación de materia particulada 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, deben tener 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 deben satisfacer los siguientes requisitos:

- 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 al medidor, 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 de 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 DINAC;
- 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.- Según la configuración, la válvula A puede consistir en dos válvulas acopladas, que permitan conseguir la función deseada.

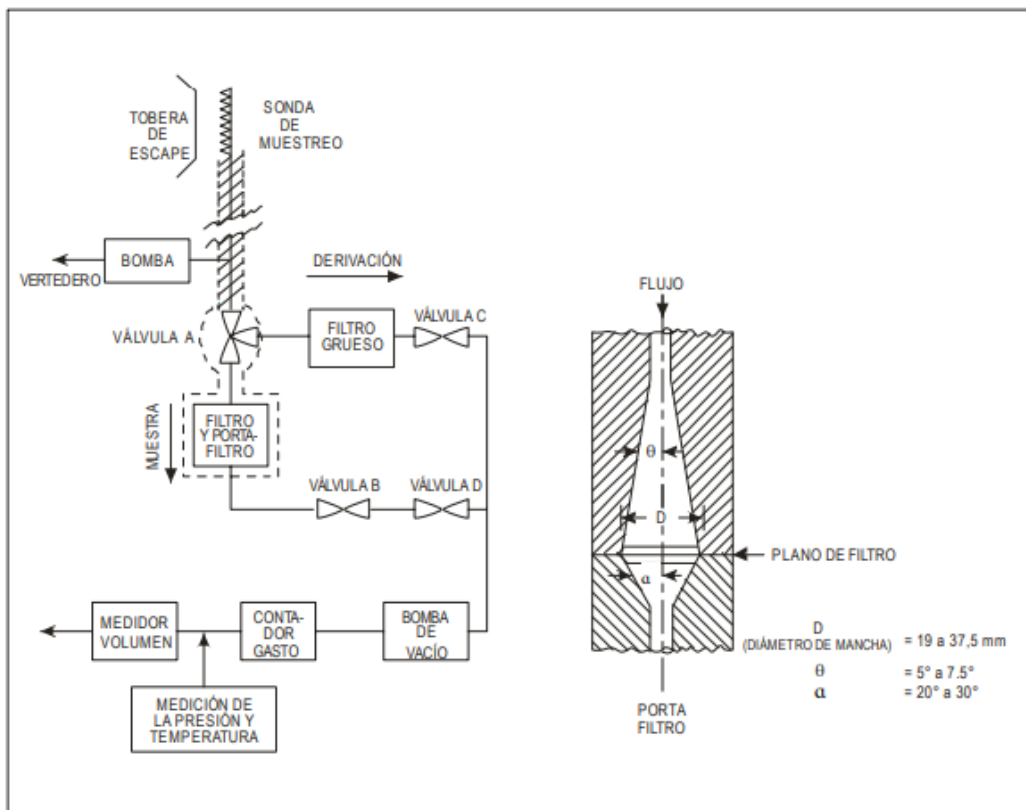


FIGURA A2-1. SISTEMA PARA ANALIZAR EL HUMO

- 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 -75kPa en relación con la presión atmosférica; al gasto máximo, el régimen no deberá ser inferior a 26 L/min, a la temperatura y presión normalizadas;
 - f) *Regulación de la temperatura*: el conducto de muestreo interno del analizador que llega hasta el portafiltro se, mantendrá a una temperatura comprendida entre 60°C y 175°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 CO₂ 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 varía;

- i) *Perdidas*: 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 cinco minutos. Dicho gasto no deberá exceder de 1 L/min (con referencia a la temperatura y presión normalizadas). 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. 5.4¹ 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 debe 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 debe hacer 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 deben hacer a reglajes del empuje aprobados por la DINAC. En cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

2.5.2. Verificaciones de las pérdidas y la limpieza. -

No se deben hacer mediciones antes de que se hayan calentado y estabilizado los conductos de transferencia de la muestra y válvulas correspondientes. Antes de proceder a una serie de ensayos, se debe verificar el sistema de la siguiente manera, para cerciorarse de que no haya pérdidas y de que esté 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 0,4 L/min a la temperatura y presión normalizadas. 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 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 la sección 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 debe 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 debe hacer 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 deben 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 debe 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 EN BASE A LOS DATOS MEDIDOS

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

$$SN' = (1 - R_s/R_w)$$

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

- 3.2. Las masas de las diversas muestras deben 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.

- 3.3. Respecto a cada régimen del motor, en el caso 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 del $\log(W/A)$, 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 la muestra 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 LA DINAC

Los datos obtenidos se deben notificar 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.

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 de gas. 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 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 periodo 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 de gas 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 de gas en unidades de volumen de un gas por millón de unidades de volumen de la mezcla de gases de la cual forma parte.

Parte 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 de gas 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 gas de la muestra.

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 deben determinar las concentraciones de gas 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) Dióxido de carbono (CO₂)

Nota.- Aunque el CO₂ no es un contaminante gaseoso de motor sujeto a reglamentación, se necesita la concentración de CO₂ para hacer cálculos y verificaciones.

- d) Óxidos de nitrógeno (NO_x): el cálculo de la suma de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂); y
- 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 debe suministrar la siguiente información adicional:

- a) temperatura en la boca de entrada;
- b) humedad en la boca de entrada;
- c) presión atmosférica;
- d) relación hidrógeno/carbono del combustible; y
- e) 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 3.2.1 del presente Apéndice.

3.2.1 Especificaciones en cuanto a los datos adicionales.-

Como se requiere en 3.2 de este apéndice, además de las concentraciones de gas medidas, se deben suministrar los siguientes datos:

- 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 50 m, como máximo, del plano de entrada, por delante del motor, con una precisión de:
 - 1) $\pm 5\%$ cuando la humedad del aire ambiente es superior o igual a 0,00634 kg de agua/kg de aire seco; o
 - 2) $\pm 0,000317$ kg de agua/kg de aire seco cuando la humedad del aire ambiente es inferior a 0,00634 kg de agua/kg de aire seco;
- 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 ± 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 $\pm 5\%$ al 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 determinan a cada ajuste de potencia para el ensayo de las emisiones, pero el parámetro especificado en c) debe determinarse a intervalos mínimos de una hora, en el transcurso del período que requieran los ensayos de las emisiones.

4. DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA

No se deben emplear 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.
- 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 representan 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 5.2.1, 5.3.1 y 5.4.1 de este Apéndice.

5.1. DISPOSITIVO PARA MEDIR LAS MUESTRAS

5.1.1. Sonda de muestreo.-

La sonda de muestreo se debe satisfacer los siguientes requisitos:

- 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 de muestreo con orificios de muestreo múltiples:
 - 1) Todos los orificios tendrán el mismo diámetro; y
 - 2) La sonda de muestreo 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 12.
- d) El plano de muestreo debe estar 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 debe demostrar a la DINAC, 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.

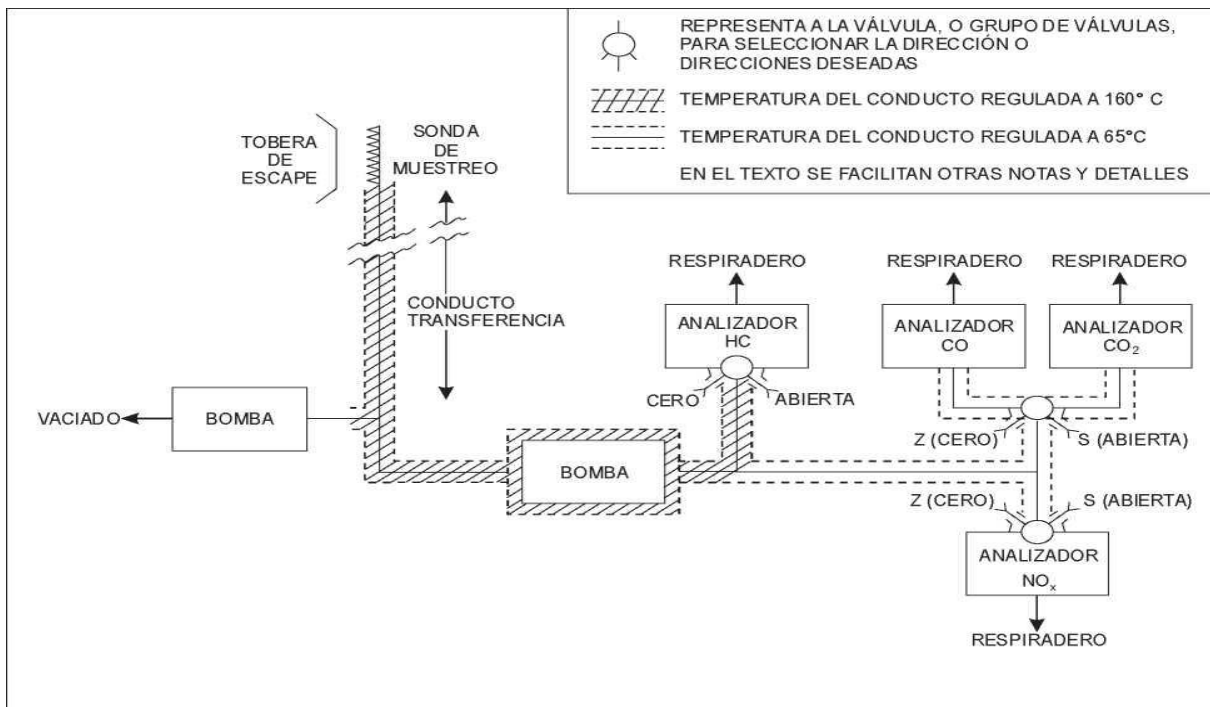


Figura A3-1 Diagrama del sistema de muestreo y análisis

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 debe tener una temperatura constante de $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$, 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, CO₂ y NO_x. El conducto debe tener una temperatura de $65^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$. Cuando el muestreo se haga para medir los elementos de HC, CO, CO₂ y NO_x, el conducto será de acero inoxidable o de 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 debe hacer 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 5.2.1 de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.

5.2.1 Especificaciones del analizador de HC.-

Nota 1.- Como se describe en 5.2 de este apéndice, 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 gas de hidrocarburos expresada como equivalente de las ppmC.

Nota 2.- La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en 6.2.4 y 6.3.3 de este apéndice.

5.2.1.1

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 debe considerar 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 a un mínimo de 150 °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 ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o $\pm 0,5$ ppmC, la que sea mayor.
- d) **Estabilidad:** superior al ± 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 ± 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 ± 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 ± 2 % del máximo de la escala, de no ser así, será necesario rectificar la calibración.

5.2.1.2

Efectos sinérgicos

Nota.- *En su aplicación práctica, hay dos aspectos de la performance que pueden afectar a 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 de gas indicadas diferentes de hidrocarburos, en cuanto se trata de concentraciones de gas 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 gas 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 del efecto del oxígeno y las respuestas relativas de los hidrocarburos se determinará como se indica a continuación, y se limitará en consecuencia.

Respuesta del oxígeno: mídase esta con dos mezclas de propano, en una concentración de gas aproximada de 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del ± 1 %, como se indica a continuación:

- a) propano en 10 ± 1 % de O_2 , y el resto N_2 ; y
- b) propano en 21 ± 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 gas de aproximadamente 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del ± 1 % como sigue:

- a) propano en aire cero;
- b) propileno en aire cero;
- c) tolueno en aire cero; y
- 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 .

5.2.1.3 Optimización de la reacción y alineación del detector

5.2.1.3.1 Se deben 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.

5.2.1.3.2 La linealidad de cada escala de gamas del analizador se deben verificar añadiendo propano a las muestras de aire, en concentraciones de gas 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 debe discrepar más del ± 2 % del máximo de la escala. En caso contrario, será preciso trazar una curva de calibración para su empleo en servicio.

5.3. ANALIZADORES CO Y CO₂

Para medir esos elementos, se debe 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, húmeda o seca.

Nota.- En 5.3.1 de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.

5.3.1 Especificaciones de los analizadores de CO y CO₂.

5.3.1.1 En 5.3 de este apéndice, se resumen las características del subsistema de análisis que hay que utilizar para medir separadamente las concentraciones de gas de CO y CO₂ 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, con filtros ópticos o ambos. Sin embargo, deberían usarse filtros ópticos.

Nota.- La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en 6.2.4 y 6.3.3 de este apéndice.

5.3.1.2 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.

5.3.1.3 Las características de actuación principales deben 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 ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor.
- d) **Estabilidad:** menos del ± 2 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) **Desviación cero:** menos del ± 1 % ppm del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) **Ruido:** 0,5 Hz y mayor, menos de ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 1 ppm, lo que sea mayor.
- g) **Interferencias:** habrá que limitarlas, con respecto a la concentración de gas de CO indicada, como sigue:
 - 1) menos de 500 ppm por ciento de la concentración de gas de etileno;
 - 2) menos de 2 ppm por ciento de la concentración de gas CO₂;
 - 3) menos de 2 ppm por ciento de la concentración de vapor acuoso.

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO₂ o del vapor de agua, se determinarán, notificarán y aplicarán los factores de corrección apropiados.

5.3.1.4 Recomendación.- Debe de aplicarse siempre factores de corrección por las limitaciones por interferencias debidas al CO₂ y al vapor de agua.

Nota.- En el adjunto A, secciones 3 y 4, figuran métodos para aplicar los factores de corrección apropiados a los efectos de interferencia.

Analizador de CO₂

- 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 ± 1 % del máximo de la escala de gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor.
- d) **Estabilidad:** menos del ± 2 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) **Desviación cero:** menos del ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) **Ruido:** 0,5 Hz y mayor, menos del ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 100 ppm, lo que sea mayor.
- g) Se verificará el efecto del oxígeno (O₂) en la respuesta del analizador de CO₂. Para un cambio del 0 % O₂ al 21 % de O₂ la respuesta de una concentración de gas determinada de CO₂ no cambiará en más del 2 % de la lectura. Si no se puede alcanzar este límite, se aplicará el factor de corrección apropiado.

5.3.1.5 Se debe aplicar siempre un factor de corrección por el efecto del oxígeno en la respuesta del analizador de CO₂.

Nota.- En el *Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones figura un procedimiento para determinar el factor de corrección apropiado por el efecto del oxígeno.*

Analizadores de CO y de CO₂

- 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 ± 2 °C. Se admite la posibilidad de medir el CO y el CO₂ 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:**
 - 1) 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 ± 2 % del valor máximo de la escala. Si excede de este valor, será preciso trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.
 - 2) 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 de gas 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.

5.4. ANALIZADOR DE NO_x-

La medición de la concentración de gas de los óxidos de nitrógeno (NO) se debe hacer 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 O₃, constituye la medición de la concentración de gas de los NO. El elemento NO₂ se convertirá en NO, en convertidor idóneo, antes de hacer la medición. El sistema de medición de los NO_x resultantes deberá tener todos los controles necesarios de flujo, temperatura y de otra índole, y lo necesario para poder hacer la calibración acostumbrada de Z y S y permitir la verificación del rendimiento del convertidor.

Nota.- En 5.4.1 de este Apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.

5.4.1 Especificaciones del analizador de NO_x

Nota.- La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en 6.2.4 y 6.3.3 de este apéndice.

5.4.1.1 Como se indica en 5.4 de este apéndice, la medición de la concentración de gas de los óxidos de nitrógeno se debe hacer por el método químico-luminiscente, mediante el cual se mide la intensidad de la radiación emitida por la reacción del NO con el O₃. Este método no es sensible al NO₂ y, por esto, será necesario pasar la muestra por un convertidor, en el cual el NO₂ se convierte en NO, antes de hacer la medición del NO_x total. Se debe de anotar tanto el NO original como las concentraciones de gas totales de NO_x. Así por diferenciación, se podrá medir la concentración de gas del NO₂.

5.4.1.2 El instrumento a utilizar debe 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 debe mantener 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.

5.4.1.3 Las especificaciones principales de actuación del instrumento utilizado a la temperatura ambiente y estable, dentro de un margen de tolerancia de 2 °C, son 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 $\pm 1,0$ % 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 contengan CO₂ y vapor de agua, se limitará a lo siguiente:
 - 1) menos del 0,5 % de la indicación/porcentaje de concentración de gas de CO₂;
 - 2) menos del 0,1 % de la indicación/porcentaje de concentración de gas en el vapor de agua.

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO₂ o del vapor de agua, se deben determinar, notificar y aplicar los factores de corrección apropiados.

5.4.1.4 Se pueden aplicar siempre factores de corrección por las limitaciones por interferencias debidas al CO₂ y al vapor de agua.

Nota.- En el adjunto A, secciones 3 y 4, figuran métodos para aplicar los factores de corrección apropiados a los efectos de interferencia.

- 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 ± 2 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor.
- j) Convertidor: estará concebido y funcionará de manera que reduzca a NO el NO₂ 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 debe emplear para corregir el valor del NO₂ de la muestra medida (es decir, $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$) el que se habría obtenido si el rendimiento hubiese sido del 100 %.

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 a 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 debe demostrar a la DINAC que la calibración del sistema analítico es correcta.

6.2.2. En cuanto al analizador de hidrocarburos, la calibración debe incluir la verificación de que tanto el detector de oxígeno como las respuestas diferenciales de los hidrocarburos se ajusten a los límites previstos, según se indica en 5.2.1 de este Apéndice. También se verifica la eficacia del convertidor de NO₂/NO, cerciorándose de que satisface lo previsto en el 5.4.1 de este Apéndice.

6.2.3. El procedimiento para verificar el comportamiento de cada analizador es el que se indica a continuación (utilizando los gases de calibración y de ensayo indicados en 6.4.2 y 6.3.3 de este Apéndice):

- a) Se introduce el gas cero (gas de referencia Z) y se realiza el reglaje a cero del instrumento, anotando la posición correspondiente;
- b) Por cada gama que haya de utilizarse en servicio, introduce el gas de calibración del 90% (nominal) de la concentración de gas correspondiente a la deflexión máxima de la escala (FSD); ajuste debidamente el regulador del instrumento y anote su posición;
- c) Introduzca aproximadamente el 30, 60 y 90% de las concentraciones FSD de gas de la gama y anote las indicaciones del analizador;
- d) Trace la recta de mínimos cuadrados correspondientes a los puntos 0, 30, 60 y 90% de concentración de gas. En cuanto al analizador de CO y/o CO₂ utilizado en su configuración básica, sin linealización de salida, se debe ajustar 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 ± 1 ppm* para el analizador de CO y ± 100 ppm para el analizador de CO₂, lo que sea mayor, se debe de trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.

6.2.4. Gases de calibración

<i>Analizador</i>	<i>Gas</i>	<i>Precisión*</i>
HC	propano en aire cero	± 2 % o ± 0.05 ppm**
CO ₂	CO ₂ en aire cero	± 2 % o ± 100 ppm**
CO	CO en aire cero	± 2 % o ± 2 ppm**
NOx	NOx en nitrógeno cero	± 2 % o ± 1 ppm**
* Basada en el "intervalo" de confianza del 95 %.		
** La que sea mayor.		

Tabla A3-1. Tabla de gases de calibración

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

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

6.2.4.2. El gas cero especificado para el analizador del CO, CO₂ y HC equivale al aire cero (el cual incluye el aire "artificial" con un 20 a 22 % de O₂ combinado con N₂). Con respecto al analizador de NOx, el nitrógeno cero se considera como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deben limitarse, de modo que sean inferiores a las concentraciones de gas siguientes:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO₂
- 1 ppm NOx

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

6.3. UTILIZACIÓN. -

6.3.1. No se deben hacer 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 debe verificar que el sistema no tenga pérdidas. Para hacerlo, aislar la sonda y los analizadores, conectar y accionar una bomba de vacío a fin de comprobar que las pérdidas del gasto del sistema sean inferiores a 0,4 L/min, a la temperatura y presión normalizadas. La bomba de vacío, a gasto nulo, deberá poder producir un vacío de -75kPa en relación con la presión atmosférica; al gasto máximo, el régimen no deberá ser inferior a 26 L/min a la temperatura y presión normalizadas.

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 debe exceder 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.

6.3.1.1 El purgado de las sondas de muestreo debe realizarse durante el arranque y el apagado de los motores con los analizadores de medición aislados.

Nota 1.- *El purgado sirve para que no se produzca ninguna contaminación significativa del combustible en el sistema de muestreo.*

Nota 2.- *Si a la entrada del motor hay niveles significativos de especies de emisiones presentes en el aire de fondo debido a otras fuentes varias, puede que esto tenga consecuencias en los niveles de las especies de emisiones de escape de los motores. En tal situación, puede justificarse que se vigilen esas especies y que se tenga en cuenta la calidad de ese aire de fondo en los niveles de emisiones notificados.*

6.3.1.2 Se puede justificar el uso de un procedimiento que tenga en cuenta la calidad del aire de fondo en los niveles de emisiones notificados, entonces debe usarse tal procedimiento, sujeto a la aprobación de la DINAC.

6.3.2. Para hacer la medición con el motor en funcionamiento, se debe adoptar el siguiente procedimiento:

- a) Aplique el gas cero apropiado y haga los ajustes necesarios del instrumento;
- b) Aplique el gas de calibración apropiado, al 90 % nominal de concentración FSD de gas con respecto a las gamas que haya que utilizar, y ajuste y anote debidamente la posición del regulador de ganancia;
- c) Una vez que el motor se haya estabilizado al reglaje del empuje requerido, debe seguir funcionando. Observe las concentraciones de los gases contaminantes hasta obtener una indicación estabilizada, que se ha de anotar;
- d) Una vez terminado el ensayo y también a intervalos máximos de una hora, durante los ensayos, verifique de nuevo el punto cero y los de calibración. Si uno de ellos ha variado más del ± 2 % de la escala FSD, debe de repetir el ensayo

hasta que el instrumento haya recuperado su posición indicada, dentro de los márgenes de la especificación de referencia.

6.3.3 Gases de ensayo.-

<i>Analizador</i>	<i>Gas</i>	<i>Precisión*</i>
HC	propano en 10 ± 1 % de O ₂ ,	±1 %
	el resto nitrógeno cero	
HC	propano en 21 ± 1 % de O ₂ ,	±1 %
	el resto nitrógeno cero	
HC	propileno en aire cero	±1 %
HC	tolueno en aire cero	±1 %
HC	n-hexano en aire cero	±1 %
HC	propano en aire cero	±1 %
CO ₂	CO ₂ en aire cero	±1 %
CO ₂	CO ₂ en nitrógeno cero	±1 %
CO	CO en aire cero	±1 %
NO _x	NO en nitrógeno cero	±1 %
* Basada en el "intervalo" de confianza del 95 %.		

Tabla A3-2 Tabla de gases de ensayo

Los gases que anteceden se requieren para llevar a cabo los ensayos de 5.2.1. 5.3.1 y 5.4.1 de este apéndice.

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

6.3.3.2. El gas cero especificado para el analizador del CO, CO₂ y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire "artificial" con un 20 a 22 % de O₂ combinado con N₂). Con respecto al analizador de NO_x, 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 de gas siguientes:

1 ppm C

1 ppm CO

100 ppm CO₂

1 ppm No_x

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

6.4. VERIFICACIÓN DEL EQUILIBRIO. -

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

7. CÁLCULOS

7.1. EMISIONES GASEOSAS. -

7.1.1. Generalidades. -

Las mediciones analíticas realizadas deben representar las concentraciones de gas de las diversas emisiones 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, deben 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 deben establecer los índices de emisión y el flujo de combustible correspondientes a la operación en las cuatro modalidades utilización LTO para un motor normal de referencia en condiciones diurnas de referencia aplicando los procedimientos de 7.2.

7.1.2. Parámetros básicos.-

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

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

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

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

$$\text{Relación } \left(\frac{\text{Aire}}{\text{Combustible}} \right) = P_0/m \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_c + (n/m) M_H} \right)$$

donde

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{\text{vol}} [[\text{CO}_2]_b Z/2])}$$

y

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

M_{AIR} masa molecular del aire seco = 28,966 g o bien, cuando corresponda = $(32[\text{O}_2]_b + 28,1564 [\text{N}_2]_b + 44,011 [\text{CO}_2]_b)$ g

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

M_{HC} masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como CH_4 = 16,043 g

M_{NO2}	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
[O₂]_b	concentración de gas de O ₂ en aire seco, por volumen = 0,2095
[N₂]_b	concentración de gas de N ₂ + gases raros en aire seco, por volumen = 0,7902
[CO₂]_b	concentración de CO ₂ en aire seco, por volumen = 0,0003
[HC]	concentración de gas media de hidrocarburos del escape, por volumen/volumen, húmeda, expresada como carbono
[CO]	concentración de gas media CO en la muestra de escape, por volumen/volumen, húmeda
[CO₂]	concentración de gas media de CO en la muestra de escape, por volumen/volumen, húmeda
[NO_x]	concentración de gas media de NO y NO ₂ en la muestra de escape, por volumen/volumen, húmeda = [NO + NO ₂]
[NO]	concentración de gas media de NO en la muestra de escape, por volumen/volumen, húmeda
[NO₂]	concentración de gas media de NO ₂ , en la muestra de escape, por volumen/volumen, húmeda

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

[NO_x]_c	concentración de gas media de NO en la muestra de escape, una vez pasado el convertidor de NO ₂ a NO, por volumen/volumen, húmeda
η	eficacia de gas de media NO ₂ 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 de combustible
n	número de átomos de H en una molécula característica de hidrocarburos del escape
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 debe evaluar analizando el tipo de combustible. La humedad del aire ambiente (h_{vol}) se debe medir 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 CO₂, ya sea seco o semisecho, estas se convertirán primero en las concentraciones de gas húmedas equivalentes.

Nota.- En el adjunto A, secciones 3 y 4, figuran métodos para la conversión a las concentraciones de gas húmedas equivalentes.

7.1.3. Corrección de los índices de emisiones con respecto a las condiciones de referencia.-

7.1.3.1. Se deben hacer las correcciones de los índices de emisiones 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: El corregido = $K \times$ El 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_{mass} humedad del aire ambiente, kg agua/kg aire seco

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 al 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 deben medir, pero también pueden calcularse a partir de las condiciones ambientales, mediante fórmulas apropiadas.

7.1.3.2. Si se utiliza la técnica recomendada en 7.2 de ajuste de la curva para relacionar los índices de emisión con las 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,

$$\text{El (CO) corregido} = \text{El derivado de } (P_B/P_{Bref}) \times \text{El (CO) en función de la curva de } T_B$$

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

$EI(NO_x)$ corregido = EI derivado de $EI(NO_x) \times (P_{Bref}/P_B)^{0.5} \times \exp(19[h_{masa} - 0,00634])$ 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, se puede utilizar 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_x debe contar con el visto bueno de la DINAC.

7.2. FUNCIONES DEL PARÁMETRO REGULADOR (D_p , F_{oo} , π)-

7.2.1. Definiciones. -

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

F_{oo} Empuje nominal (véase la Parte I, Capítulo 1, Definiciones).

F_n Empuje n 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 de 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.

π La relación entre 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 deben obtener para cada modalidad de utilización LTO. Se requieren tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Se debe determinar las relaciones siguientes para condiciones atmosféricas de referencia y para cada contaminante gaseoso:

a) entre EI (corregidos) y T_B ;

b) entre W_f y T_B ; y

c) entre F_n y T_B .

Nota 1.- Estas relaciones se ilustran, por ejemplo, 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.

7.2.2.1. 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.

7.2.2.2. El fabricante también debe suministrar a la DINAC 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:

a) el empuje nominal (F_{oo}); y

b) la relación de presión de referencia (π_{oo})

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

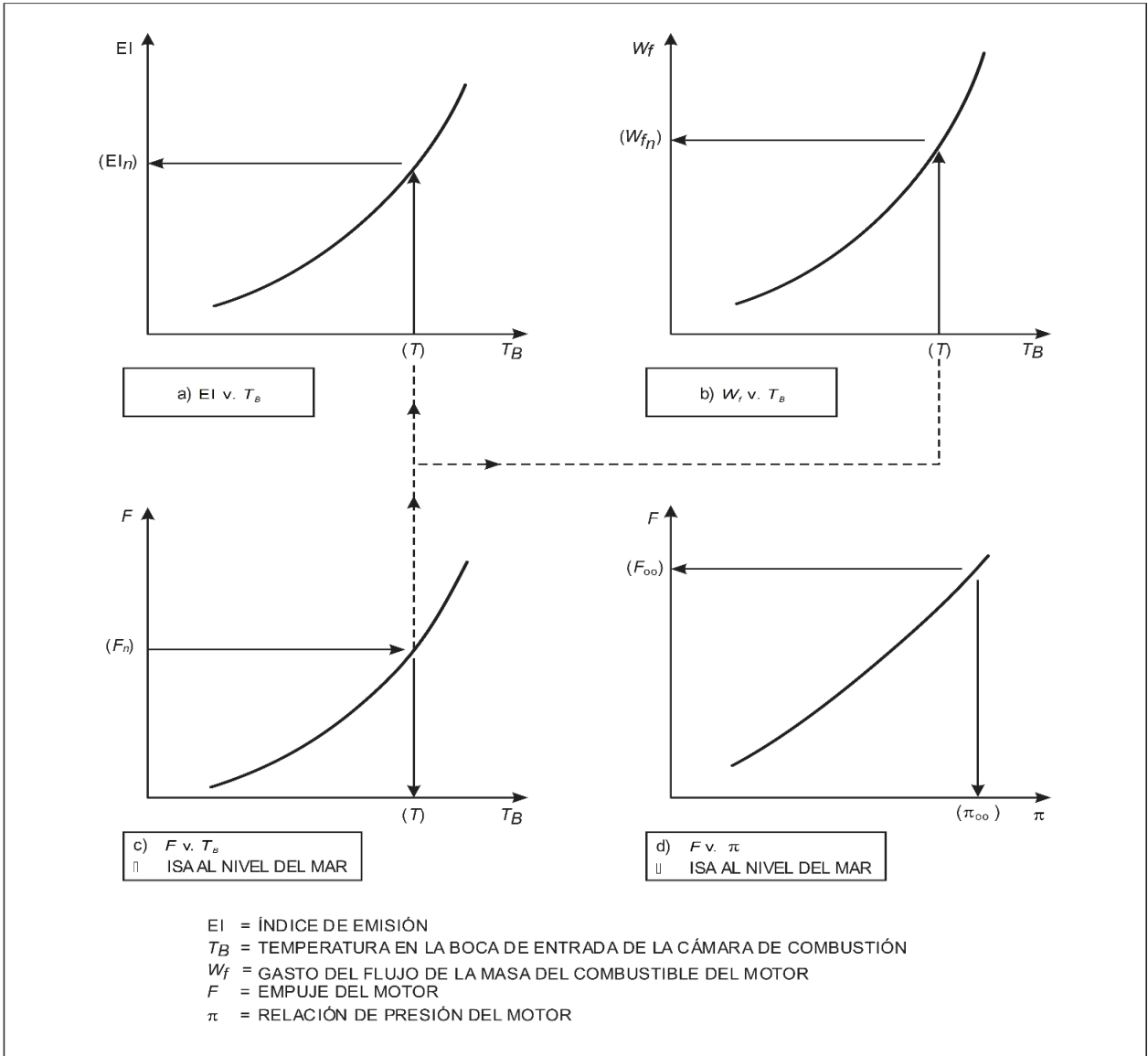


Figura A3-2. Procedimiento de cálculo

7.2.3.

La estimación del EI (corregido) para cada emisión gaseosa en las cuatro modalidades de utilización LTO se debe ajustar 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)], determinar el valor EI_n correspondiente a T_B ;
- c) A partir de la curva característica W_f/T_B [Figura A3-2 b)], determinar el valor W_{fn} correspondiente a T_B .
- d) Registrar los valores de F_{oo} y π_{oo} [figura A3-2 d)];
- e) Calcular, para cada contaminante $D_p = \sum (EI_n (W_{fn}(t))$, en la que;

- t es el tiempo en la modalidad LTO (minutos)
- W_i es el gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min) y
- Σ suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO.

Nota.- Si bien la metodología descrita es la requerida, la DINAC 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.

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, a menos que la DINAC haya acordado una desviación respecto a las mismas y cualquier corrección necesaria. No debe contener aditivos con el propósito de suprimir el humo (como los compuestos organometálicos).

<i>Propiedad</i>	<i>Gama permisible de valores</i>
Densidad kg/m ³ a 15°C	780 - 820
Temperatura de destilación, °C	
10 por ciento del punto de ebullición	155 - 201
Punto final de ebullición	235 - 285
Calor neto de combustión, MJ/kg	42,86 - 43,50
Aromáticos, por ciento de volumen	15 - 23
Naftalinas, por ciento de volumen	0,0 - 3,0
Punto de humo, mm	20 - 28
Hidrógeno, por ciento de masa	13,4 - 14,3
Azúfre, ppm por masa	menos de 3000
Viscosidad cinemática a -20°C, mm ² /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 DINAC.

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 10⁶, 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 debe determinar 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) Dióxido de carbono (CO₂).

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

- d) Óxidos de nitrógeno (NO_x): se hará un cálculo de la suma de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂); y
- 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 debe suministrar siguientes datos, 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 hidrogeno/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 obtienen por medición directa o por cálculo, según se indica en 3.2.1 del presente apéndice.

3.2.1 Especificaciones en cuanto a los datos adicionales

Como se requiere en 3.2 de este apéndice, además de las concentraciones medidas de los componentes de las muestras, se deben suministrar los siguientes datos:

- 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 $\pm 0,5$ °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 ± 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 ± 100 Pa.
 - d) Flujo de combustible: por medición directa, con una precisión de ± 2 %.
 - e) Relación H/C del combustible: definida como n/m , en la que $C_m H_n$ 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.
- a. Parámetros del motor:
 - 1) Empuje: por medición directa, con una precisión de ± 1 % al régimen de despegue y ± 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 ± 2 %, por referencia a la calibración de performance del motor.

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

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 deben emplear 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 depende 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, depende 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 5.2.1, 5.3.1 y 5.4.1 de este apéndice.*

5.1. DISPOSITIVO PARA MEDIR LAS MUESTRAS.-

5.1.1. Sonda de muestreo.-

- a) La sonda debe estar 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 debe ser de acero inoxidable y su temperatura se mantendrá a un mínimo de 60°C.

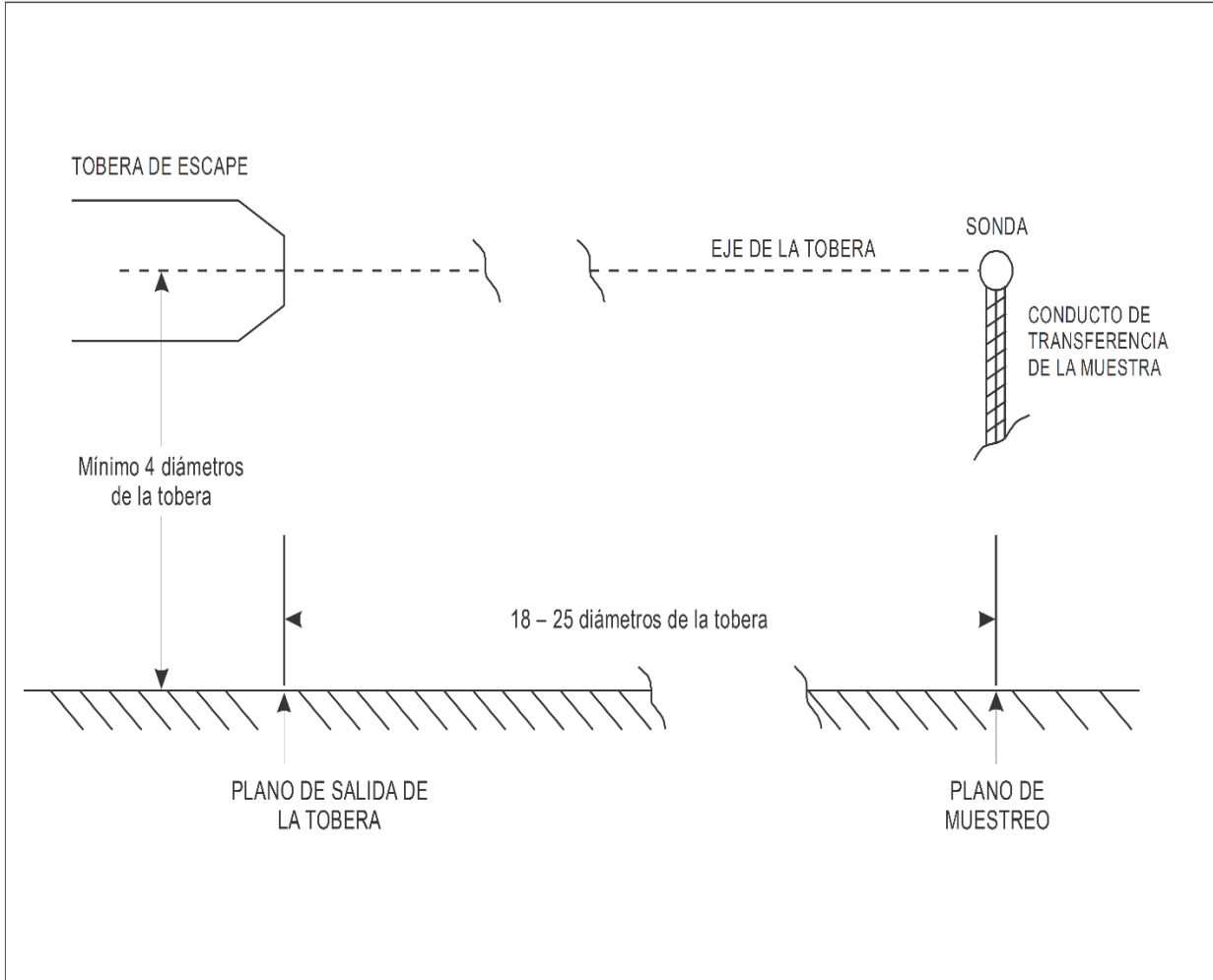


Figura A5-1. Diagrama del sistema de muestreo de los gases de escape

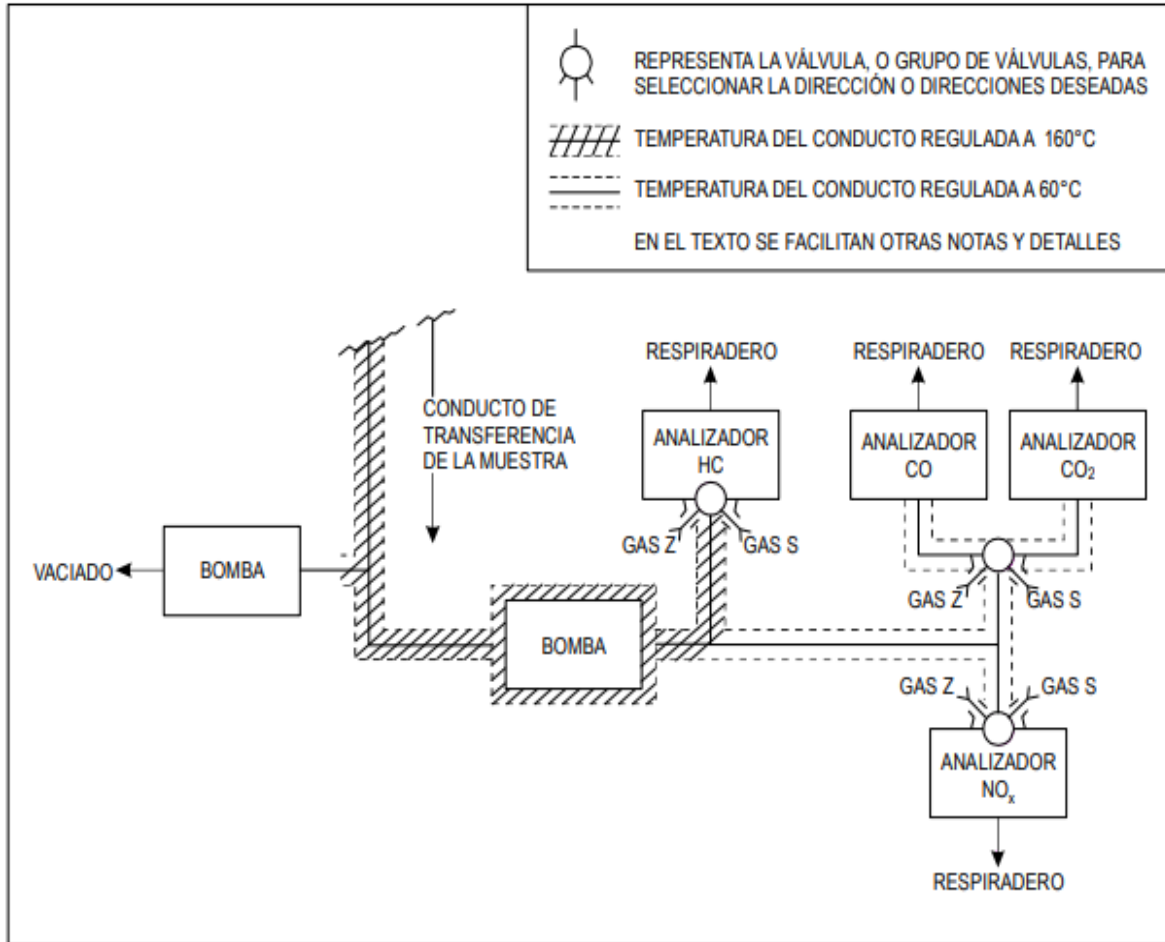


Figura A5-2. Diagrama del sistema de muestreo, transferencia y análisis de la muestra

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 debe ser el previsto para el régimen máximo de potencia del motor. Entre el escape, incluido éste y los planos de muestreo, debe 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) Debe haber, 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 toman 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 debe transferir 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 debe de tener una temperatura constante de 160°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, CO₂ y NO_x, el conducto debe ser de acero inoxidable o de politetrafluoroetileno (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 debe hacer 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 diluyentes, y para hacer la verificación efectiva de las calibraciones S (span) y Z (zero).

Nota.- En el 5.2.1 de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.

5.2.1. Especificaciones del analizador de HC.-

Nota 1.- Como se describe en 5.2 de este apéndice, 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. En base a 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 6.3.4 y 6.4.3 de este apéndice.

5.2.1.1 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 consideran al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se deben de tomar las precauciones apropiadas.

El instrumento que se utilice debe ser capaz de 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 deben 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 ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o $\pm 0,5$ ppmC, la que sea mayor.
- d) Estabilidad: superior al ± 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 ± 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 ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o $\pm 0,5$ ppmC, lo que sea mayor.
- g) Tiempo de respuesta: no debe 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 debe ser lineal respecto a cada gama, con una tolerancia de ± 2 % del máximo de la escala, de no ser así, será necesario rectificar la calibración.

5.2.1.2. 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 debe determinar cómo se indica a continuación, y se limitará en consecuencia.

Respuesta del oxígeno: mídase esta con dos mezclas de propano, en una concentración aproximada de 500 ppmC, de una precisión relativa conocida del ± 1 %, como se indica a continuación:

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

Si R1 y R2 constituyen las respuestas normalizadas respectivas, $(R1 - R2)$ no debe alcanzar el 3 % de R1.

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 ± 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 Ra, Rb, Rc y Rd constituyen, respectivamente, las respuestas normalizadas (con respecto al propano), tendremos que (Ra – Rb), (Ra – Rc) y (Ra – Rd) deben ser, cada una de ellas, inferiores al 5 % de Ra.

5.2.1.3. Optimización de la reacción y alineación del detector

5.2.1.3.1 Se debe 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 requieren 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 debe determinar 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 debe evaluar la respuesta de oxígeno y la del diferencial de los hidrocarburos, como se deja apuntado.

5.2.1.3.2 La linealidad de cada escala de gamas del analizador se verifica 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 debe discrepar más del ± 2 % del máximo de la escala. En caso contrario, será preciso trazar una curva de calibración para su empleo en servicio.

5.3. ANALIZADORES CO Y CO₂-

Para medir esos elementos, habrá que utilizar analizadores de infrarrojo sin dispersión, que deben 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 debe ser la apropiada para la base de medición utilizada, húmeda o seca.

Nota.- En 5.3.1 de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.

5.3.1 Especificaciones de los analizadores de CO y de CO₂-

Nota 1.- En 5.3 de este apéndice se resumen las características del subsistema de análisis que hay que utilizar para medir separadamente las concentraciones de CO y CO₂ 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 en 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, con filtros ópticos o ambos. Sin embargo, deberían usarse filtros ópticos.

Nota 2.- La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en 6.3.4 y 6.4.3 de este apéndice.

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 consideran al

prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se deben de tomar las precauciones apropiadas.

Las características de actuación principales deben 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 ± 1 % del máximo de la escala de gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor.
- d) **Estabilidad:** menos del ± 2 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) **Desviación cero:** menos del ± 1 % ppm del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) **Ruido:** 0,5 Hz y mayor, menos de ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 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 % de la concentración de etileno;
 - 2) menos de 2 ppm % de la concentración de CO₂;
 - 3) menos de 2 ppm % de la concentración de vapor acuoso*

Si no es posible satisfacer las limitaciones de interferencia del CO₂ o del vapor de agua, se deben determinar, notificar y aplicar los factores de corrección apropiados.

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

ANALIZADOR DE CO₂

- 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 ± 1 % del máximo de la escala de gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor.
- d) **Estabilidad:** menos del ± 2 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- e) **Desviación cero:** menos del ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor, en un período de una hora.
- f) **Ruido:** 0,5 Hz y mayor, menos del ± 1 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 100 ppm, la que sea mayor.
- g) Se deben verificar el efecto del oxígeno (O₂) en la respuesta del analizador de CO₂. Para un cambio de 0 % O₂ a 21 % de O₂ la respuesta de una concentración determinada de CO₂ no cambiará en más de 2 % de la lectura. Si no se puede alcanzar este límite, se debe aplicar 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 CO₂

- a) **Tiempo de respuesta:** no debe 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 ± 2 °C. Se admite la posibilidad de medir el CO y el CO₂ 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 deben verificar 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 ± 2 % del valor máximo de la escala. Si excede de este valor, es preciso trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.
 - ii) En el caso de los analizadores con características no lineal de salida de señal, y de los que no cumplan con los requisitos de linealidad mencionados, es 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 deben utilizar otras mezclas, si es necesario, para definir adecuadamente la forma de la curva.

5.4. ANALIZADOR DE NO_x-

La medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno (NO) se debe hacer 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 O₃, constituye la medición de la concentración de los NO. El elemento NO₂ se convertirá en NO, en un convertidor idóneo, antes de hacer la medición. El sistema de medición de los NO_x resultantes debe 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 5.4.1 de este apéndice aparecen las especificaciones correspondientes.

5.4.1 Especificaciones del analizador de NO_x-

Nota.- La información sobre los gases de calibración y de ensayo figura en 6.3.4 y 6.4.3 de este apéndice.

- 5.4.1.1** Como se indica en 5.4 de este apéndice, la medición de la concentración de los óxidos de nitrógeno se debe hacer por el método químico-luminiscente, mediante el cual se mide la intensidad de la radiación emitida por la reacción del NO con el O₃. Este método no es sensible al NO₂ y, por esto, es necesario pasar la muestra por un convertidor, en el cual el NO₂ se convierte en NO, antes de hacer la medición del

NOx total. Habrá que anotar tanto el NO original como el NOx. Así por diferenciación, se podrá medir la concentración del NO₂.

- 5.4.1.2** El instrumento a utilizar debe 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 debe considerar al prepararse para efectuar las mediciones. Si es necesaria una mejor actuación, se deben de tomar las precauciones apropiadas.

- 5.4.1.3** 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 $\pm 1,0$ % 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 CO₂ y vapor acuoso, se limitará a lo siguiente:
 - menos del 0,5 % de la indicación/porcentaje de la concentración de CO₂;
 - 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 CO₂ o del vapor de agua, se deben determinar, notificar y aplicar 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 debe 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 ± 2 % del máximo de la escala de la gama utilizada o ± 2 ppm, la que sea mayor.
- j) **Convertidor:** estará concebido y funcionará de manera que reduzca a NO el NO₂ presente en la muestra. El convertidor no alterará el NO contenido inicialmente en la muestra.

El rendimiento técnico del convertidor debe ser, por lo menos, del 90 %. Este valor del rendimiento se debe emplear para corregir el valor del NO₂ de la muestra medida (es decir, $[\text{NOx}]_c - [\text{NO}]$) el que habría obtenido si el rendimiento hubiese sido del 100 %.

6. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR AL HACER EL ENSAYO GENERAL

6.1. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.-

El motor se debe hacer 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 deben hacer en los regímenes de potencia prescritos por la DINAC. A cada régimen, habrá que estabilizar el motor.

6.2. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS AMBIENTALES. -

- 6.2.1. Deben verificarse las concentraciones de CO, HC, CO₂ y NO_x 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 deben corregir o evitar, según corresponda.

Nota.- A título informativo, la concentración normal de CO₂ en el ambiente es de 0,03% y los niveles de concentración de CO y HC de 5 ppm, y el de NO_x de 0,5 ppm, los cuales difícilmente se sobrepasan en condiciones ambientales normales.

- 6.2.2. También se deben evitar 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 debe demostrar a la DINAC 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 5.2.1 de este apéndice. También se debe verificar la eficacia del convertidor de NO₂ /NO, cerciorándose de que satisface lo previsto en 5.4.1 de este apéndice.
- 6.3.3. El procedimiento para verificar el comportamiento de cada analizador debe ser el que se indica a continuación (utilizando los gases de calibración y de ensayo indicados en 6.3.4 y 6.4.3 de este apéndice):
 - a) Introduzca el gas cero (gas de referencia Z) y haga el reglaje a cero del instrumento, anotando la posición correspondiente;
 - b) Por cada gama que haya de utilizarse en servicio, introduzca 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 anótense 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 CO₂ 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 del 2 % del valor de la escala (o ± 1 ppm*, lo que sea mayor), habrá que trazar una curva de calibración para utilizarla en servicio.

6.3.4 Gases de calibración

Analizador	Gas	Precisión*
HC	propano en aire cero	± 2 % o $\pm 0,05$ ppm**
CO ₂	CO ₂ en aire cero	± 2 % o ± 100 ppm**
CO	CO en aire cero	± 2 % o ± 2 ppm**
NOx	NOx en nitrógeno cero	± 2 % o ± 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 A5-1 Tabla de gases de calibración

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

6.3.4.2 El gas cero especificado para el analizador del CO, CO₂ y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire "artificial" con un 20 a 22 % de O₂ combinado con N₂). Con respecto al analizador de NOx, el nitrógeno cero se considerará como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deben limitarse, de modo que sean inferiores a las concentraciones siguientes:

- 1 ppm C
- 1 ppm CO
- 100 ppm CO₂
- 1 ppm NOx

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

6.4. UTILIZACIÓN.-

6.4.1. No se deben hacer 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 debe adoptar el siguiente procedimiento:

- a) Se debe aplicar el gas cero apropiado y hacer los ajustes necesarios del instrumento;
- b) Aplicar el gas de calibración apropiado, al 90% nominal de concentración FSD con respecto a las gamas que haya que utilizar y, ajustar y anotar 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, este debe seguir funcionando. Se debe observar las concentraciones de los contaminantes hasta obtener una indicación estabilizada, que se habrá de anotar. En la misma modalidad de utilización del motor, se debe repetir 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 $\pm 2\%$ del máximo de la escala de la gama, habrá que repetir el ensayo hasta que el instrumento haya recuperado su posición indicada, dentro de los márgenes de la especificación de referencia.

6.4.3 Gases de ensayo.-

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

6.4.3.2 El gas cero especificado para el analizador del CO, CO₂ y HC equivaldrá al aire cero (el cual incluye el aire “artificial” con un 20 a 22 % de O₂ combinado con N₂). Con respecto al analizador de NO_x, el nitrógeno cero se considerará como gas cero. Las impurezas contenidas en ambas variedades de gas cero deben limitarse, de modo que sean inferiores a las siguientes concentraciones:

1 ppm C	1 ppm CO	100 ppm CO ₂	1 ppm NO _x
---------	----------	-------------------------	-----------------------

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

Analizador	Gas	Precisión*
HC	propano en 10 ±1 % de O ₂ , el resto nitrógeno cero	±1 %
HC	propano en 21 ±1 % de O ₂ , el resto nitrógeno cero	±1 %
HC	propileno en aire cero	±1 %
HC	tolueno en aire cero	±1 %
HC	n-hexano en aire cero	±1 %
HC	propano en aire cero	±1 %
CO ₂	CO ₂ en aire cero	±1 %
CO ₂	CO ₂ en nitrógeno cero	±1 %
CO	CO en aire cero	±1 %
NOx	NO en nitrógeno cero	±1 %

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

Los gases que anteceden se requieren para llevar a cabo los ensayos de 5.2.1, 5.3.1 y 5.4.1 de este apéndice.

Tabla A5-2 Tabla de gases de ensayo

7. CÁLCULOS

7.1. EMISIONES GASEOSAS.-

7.1.1. Generalidades.-

Las mediciones analíticas realizadas deben representar 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, deben 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 jésima posición de muestreo.

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

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

- b) La calidad de las mediciones de cada contaminante se debe determinar comparándolas con las mediciones de CO₂ aplicando el coeficiente de correlación siguiente:

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} CO_{2j} - \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n CO_{2j}}{\sqrt{\left\{ n \sum_{j=1}^n (CO_{2j})^2 - (\sum_{j=1}^n CO_{2j})^2 \right\} \left\{ n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n C_{ij})^2 \right\}}}$$

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 B 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:

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

$$EI (CO) = \left(\frac{[CO]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left(\frac{10^3 M_{CO}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$EI (HC) = \left(\frac{[HC]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left(\frac{10^3 M_{HC}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_0/m))$$

$$EI (NO_x) \text{ (Como } NO_2) = \left(\frac{[NO_x]}{[CO_2] + [CO] + [HC]} \right) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1 + T(P_0/m))$$

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

en la que:

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

y

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

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_{HC} masa molecular de hidrocarburos del escape, considerados como CH₄ = 16,043 g

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

M_{NO₂} masa molecular del NO₂ = 46,008 g

M_C masa atómica del carbono = 12,011 g

M_H	masa atómica del hidrógeno = 1,008 g
R	concentración de O_2 en aire seco, por volumen = normalmente 0,209 5
S	concentración de N_2 + gases raros en aire seco, por volumen = normalmente 0,790 2
T	concentración de CO_2 en aire seco, por volumen = normalmente 0,000 3
[HC]	concentración húmeda media de hidrocarburos del escape por volumen/volumen, expresada como carbono
[CO]	concentración húmeda media de CO, por volumen/volumen
[CO ₂]	concentración húmeda media de CO ₂ , por volumen/volumen
[NO _x]	concentración húmeda media de NO _x , por volumen/volumen = ([NO] + [NO ₂])
[NO]	concentración húmeda media de NO en la muestra de escape, por volumen/volumen
[NO ₂]	concentración húmeda media de NO ₂ en la muestra de escape, por volumen/volumen = $\frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$
[NO _x] _c	concentración media de NO en la muestra de escape una vez pasado el convertidor de NO ₂ a NO, por volumen/volumen
η	eficacia del convertidor de NO ₂ 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 deben utilizar los valores x = 1, y = 4. Si hay que utilizar mediciones del CO y del CO₂, ya sea seco o semisecho, éstas se deben convertir primero en las concentraciones húmedas equivalentes que figuran en el Adjunto B, donde también figuran fórmulas para corregir las interferencias, cuando sea necesario.

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 DINAC.

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

Se deben hacer 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 H₂O/kg de aire seco.

Así, pues, tendremos: El corregido = $K \times$ El 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,

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

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

El(NOx) corregido = El derivado de El(NOx) $(P_{Bref}/P_B)^{0,5} \exp(19[h_{vol} - 0,00634])$ 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_x debe contar con el visto bueno de la DINAC.

7.2. FUNCIONES DEL PARÁMETRO REGULADOR (D_p , F_{oo} , π)

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 DINAC competente encargada de la certificación.
- π 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 deben obtener en base a 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 requieren tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Con respecto a cada contaminante, se debe determinar 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 aquel que corresponde fundamentalmente a la descripción del motor cuya certificación se solicita y que la DINAC ha aceptado como representativo del tipo de motor en cuestión.

El fabricante también debe suministrar a la DINAC 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 (π) 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)];

- b) A partir de la característica EI/T_B [Figura A5-3 a)], determinar el valor EI_n correspondiente a T_B ;
- c) A partir de la característica W_f /T_B [Figura A5-3 b)], determinar 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_{∞} y π , respectivamente [Figura A5-3 d)];
- e) *Calcúlese, para cada contaminante $Dp = \Sigma (EI_n) (W_{fn}) (t)$, en la que:*
 - t tiempo en la modalidad LTO (minutos)
 - W_{fn} gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min)
 - Σ 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 DINAC 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.

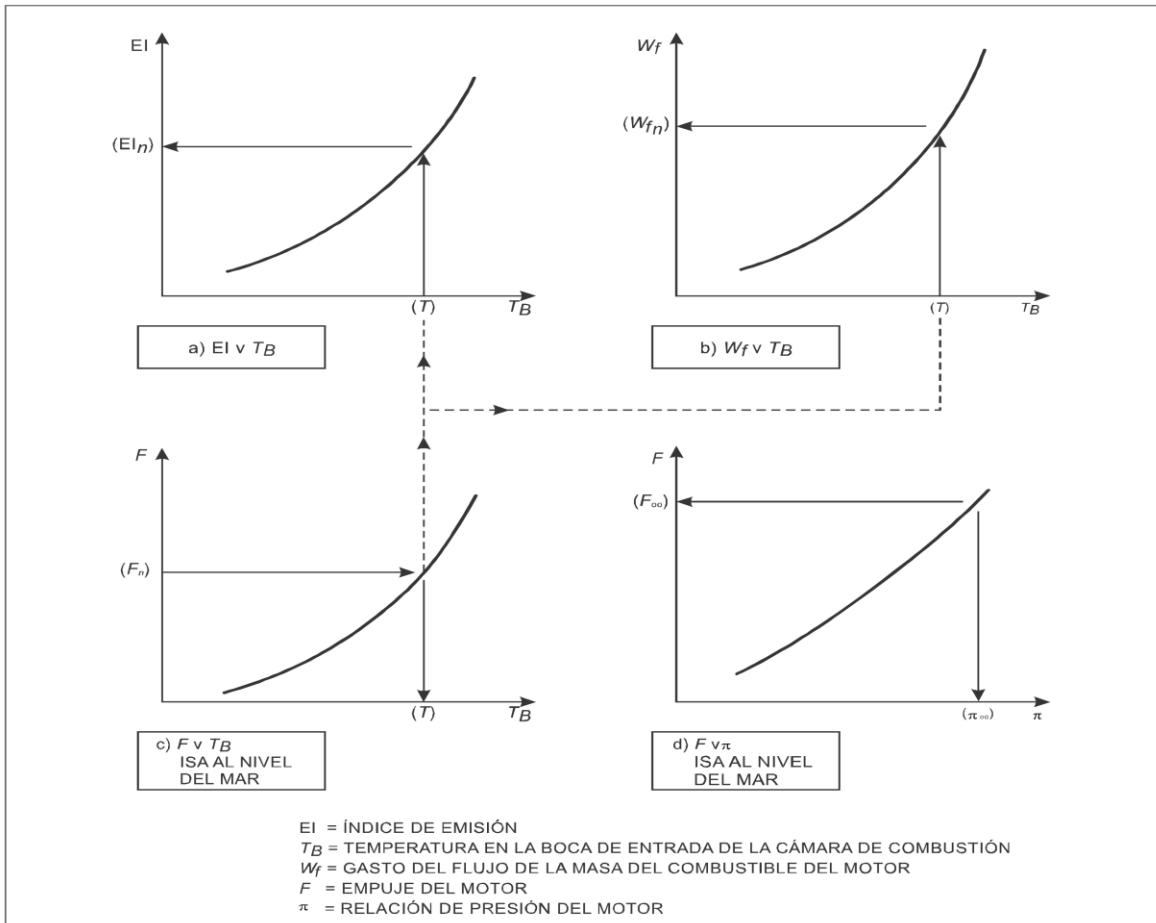


Figura A5-3. Procedimiento de cálculo

APÉNDICE 6. PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO CON RESPECTO A EMISIONES GASEOSAS, HUMO Y EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA

1. GENERALIDADES

Para satisfacer los niveles reglamentarios prescritos en la Parte III, 2.2, 2.3, 3.2, 3.3 y 4.2 se observan los siguientes principios generales:

- a) Para las pruebas de certificación, el fabricante podrá seleccionar cualquier número de motores, incluso un solo motor, si así lo desea;
- b) La DINAC 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 (i) se prueba varias veces, el valor medio aritmético (X_i) de las pruebas se considerará como valor medio de ese motor (i). El resultado de la certificación equivale entonces a la media aritmética 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, 3.4, 4.2 y/o 4.3 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 7.1.3 del Apéndice 3, en 7.1.4 del Apéndice 5, o 6 del Apéndice 7, según corresponda.

2. PROCEDIMIENTO PARA CERTIFICAR EL CUMPLIMIENTO

2.1. EMISIONES GASEOSAS E ÍNDICE DE HUMO

La DINAC debe conceder 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 dividido por el factor apropiado que se determina mediante el número de motores probados (i) como se indica en la Tabla A6-1.

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 por el factor correspondiente al número de motores probados, según se indica en la tabla A6-1.

numero de motores probados (i)	CO	HC	NOx	SN	Concentración de la masa de nvPM	Masa de nvPM del LTO	Número de nvPM del LTO
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9	0,776 9	0,719 4	0,719 4
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7	0,852 7	0,814 8	0,814 8
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1	0,909 1	0,885 8	0,885 8
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3	0,921 3	0,901 1	0,901 1
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6	0,929 6	0,911 6	0,911 6
6	0,946 7	0,8990	0,960 5	0,935 8	0,935 8	0,919 3	0,919 3
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5	0,940 5	0,925 2	0,925 2
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4	0,944 4	0,930 1	0,930 1
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6	0,947 6	0,934 1	0,934 1
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2	0,950 2	0,937 5	0,937 5
Más de 10	$1 - \frac{0,13059}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,24724}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,09678}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,15736}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,15736}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,19778}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,19778}{\sqrt{i}}$

Tabla A6-1. Factores para determinar los niveles característicos

2.2. EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA

2.2.1. La DINAC debe conceder un certificado de cumplimiento si la media de los valores de la concentración máxima de la masa de nvPM para todos los motores probados no sobrepasa el nivel reglamentario cuando se convierta al nivel característico el factor apropiado que se determina mediante el número de motores probados (i), como se indica en la Tabla A6-1.

Nota.- El nivel característico de la concentración máxima de la masa de nvPM es la media de los valores máximos de todos los motores probados, divididos por el factor correspondiente al número de motores probados, como se indica en la Tabla A6-1.

2.2.2. La DINAC debe otorgar el certificado de cumplimiento si la media de los valores de las emisiones de nvPM en masa y la media de los valores de nvPM en número que arrojen todos los motores sometidos a prueba, convertidos al nivel característico dividido por factor correspondiente determinado para el número de motores sometidos a prueba (i), como se muestra en la Tabla A6-1, no superan el valor reglamentario.

Nota.- El nivel característico de las emisiones de nvPM en masa y nvPM en número es la media de los valores de todos los motores sometidos a prueba, dividida por el factor correspondiente al número de motores sometidos a prueba, como se muestra en la Tabla A6-1.

2.3. NIVEL CARACTERÍSTICO

Los factores que se necesitan para determinar los niveles característicos de las emisiones de los motores figuran en la Tabla A6-1.

3. PROCEDIMIENTO EN CASO DE RECHAZO

- 3.1.** 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 DINAC no es suficientemente elevado, es decir, es inferior al 90%. Por consiguiente, se puede permitir al fabricante presentar pruebas adicionales de cumplimiento en cuanto al tipo de motor en cuestión.
- 3.2.** Si un tipo de motor no satisface la prueba para la certificación, la DINAC permitirá al fabricante, si 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 permite al fabricante que pruebe cuantos motores adicionales desee. Luego, estos resultados se examinarán junto con todos los datos precedentes.
- 3.3.** Si el resultado sigue siendo negativo, es permisible al fabricante que seleccione uno o más motores para modificarlos. Se estudiarán entonces los resultados de la prueba ya realizada del motor (o motores) seleccionada (s) antes de ser modificada (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”.
- 3.4.** 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, se debe determinar si la modificación satisface las exigencias pertinentes de aeronavegabilidad.
- 3.5.** Este procedimiento se debe repetir hasta que quede demostrado el cumplimiento o se retire la solicitud de certificación del tipo de motor.

APÉNDICE 7. INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL

1. INTRODUCCIÓN

Nota. – *Los procedimientos que se describen en el presente apéndice contienen directrices para la obtención de muestras representativas de materia particulada no volátil (nvPM) del escape de una turbina y su transporte al sistema de muestreo y medición y posterior análisis. Este procedimiento no es aplicable a los motores que utilizan posquemador.*

2. DEFINICIONES, SIGLAS Y SÍMBOLOS

2.1. DEFINICIONES

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

Carbono elemental (EC). Carbono que absorbe la luz y se elimina de una muestra de filtro calentada a 870°C en una atmósfera inerte durante un análisis por el método de transmitancia termo óptica (TOT), con exclusión del residuo de carbón.

Carbono orgánico (OC). Carbono que se volatiliza en helio cuando se calienta una muestra de filtro de fibra de cuarzo a 870°C durante el análisis por el método de transmitancia termo óptica (TOT). Incluye el residuo de carbón formado durante la pirólisis de algunos materiales.

Coefficiente de penetración. La proporción de concentración de partículas aguas abajo y arriba de un elemento del sistema de muestreo.

Concentración de gases. La fracción en volumen del componente de la mezcla de gases que reviste interés.

Concentración en masa de partículas. La masa de las partículas por volumen unitario de muestra.

Concentración en número de partículas. El número de partículas por volumen unitario de muestra.

Convertidor catalítico Aparato catalizador que elimina elementos volátiles mediante la oxidación.

Diámetro aerodinámico de una partícula. El diámetro de una esfera equivalente de densidad unitaria con la misma velocidad terminal de decantación que la partícula en cuestión, también denominado “diámetro aerodinámico clásico”.

Diámetro de movilidad eléctrica de una partícula. Diámetro de una esfera que se mueve exactamente con la misma movilidad en un campo eléctrico que la partícula en cuestión.

Distribución de los tamaños de partícula. Lista de valores o función matemática

que representa la concentración en número de partículas en función del tamaño.

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

Fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión: Dispositivo que utiliza la combustión de una llama de difusión con un combustible dado que emite materia particulada en suspensión en el aire.

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.

Índice de emisión en masa de partículas. La masa de partículas emitidas por unidad de masa de combustible utilizada.

Índice de emisión en número de partículas. El número de partículas emitidas por unidad de masa de combustible utilizada.

Laboratorio competente. Laboratorio de pruebas y calibración que establece, aplica y mantiene un sistema de calidad apropiado para el alcance de sus actividades, en cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025:2005, con sus enmiendas ocasionales, o norma equivalente y cuyo programa de calibración de equipos está diseñado y se utiliza para garantizar que las calibraciones y mediciones efectuadas por el laboratorio sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). No se requiere que el laboratorio esté formalmente acreditado respecto de la norma ISO/IEC 17025:2005.

Materia particulada no volátil (nvPM). Partículas emitidas que existen en el plano de salida de la tobera de escape del motor de las turbinas de gas y que no se volatilizan cuando se las calienta a una temperatura de 350°C.

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.

Pérdida de partículas. Las partículas que se pierden durante el transporte a través de un sistema de muestreo. Esta pérdida se debe a diversos mecanismos de deposición, algunos de los cuales dependen del tamaño de la partícula.

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

Repetibilidad. La precisión con que puede lograrse la medición de una muestra dada e invariable 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.

Separador ciclónico. Separa, mediante rotación y fuerza gravitatoria, partículas de mayor tamaño que el diámetro aerodinámico indicado. El punto de corte del diámetro aerodinámico está asociado con el porcentaje de partículas de un tamaño dado que atraviesan el separador ciclónico.

Sistema de calidad. Un sistema de gestión en el que el laboratorio competente documenta sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones en la medida necesaria para garantizar la calidad de los resultados de la prueba y/o calibración.

Tiempo de subida. El tiempo necesario para que la señal de salida pase del 10 al 90% del cambio final de la señal de salida cuando se aplica abruptamente un material de referencia al sistema automático de medición que, inicialmente, se encuentra en estado básico. (Este término solo se aplica a un analizador en línea).

2.2. SIGLAS

CPC	Contador de partículas de condensación
EC	Carbono elemental
FS	Rango completo de la escala del analizador
GL	Conducto de gas
HEPA	Filtro de aire de partículas de elevada eficacia, clase H13, que elimina por lo menos 99,97% de las partículas de ftalato de dioctilo (0,3 µm de diámetro)
ID	Diámetro interno
ISA	Atmósfera tipo internacional (ISO 2533:1975)
LOD	Límite de detección
NMI	Instituto Nacional de Metrología
nvPM	Materia particulada no volátil (véase la definición)
nvPMmi	Instrumento de medición de masa de materia particulada no volátil
nvPMni	Instrumento de índice de materia particulada no volátil
PTFE	Politetrafluoroetileno
slpm	Litros normalizados por minuto (litros por minuto en STP)
STP	Condición del instrumento a temperatura (0°C) y presión (101,325 kPa) normalizadas
TOT	Transmitancia termoóptica
VPR	Eliminador de partículas volátiles
VRE	Rendimiento de depuración de materia volátil

2.3. SÍMBOLOS

[CO]	Concentración de gas media de CO en muestra de escape, volumen/volumen, húmeda
[CO ₂]	Concentración de gas media de CO ₂ en muestra de escape sin diluir, volumen/volumen, húmeda
[CO ₂] _b	Concentración de CO ₂ en aire seco, en volumen = 0,0003
[CO ₂] _{dil1}	Concentración de gas media de CO ₂ volumen/volumen tras la primera etapa de dilución, húmeda
[CO ₂] _{dil2}	Concentración de gas media de CO ₂ volumen/volumen tras la segunda etapa de dilución, húmeda
[CO ₂] _s	Concentración de gas media de CO ₂ volumen/volumen en muestra de escape sin diluir, húmeda, semihúmeda o seca

DF	Factor de dilución = (Concentración de la muestra antes de la dilución) / (Concentración de la muestra después de la dilución)
<u>Volumen de la muestra sin diluir</u>	
Volumen de la muestra diluida	
DF ₁	Factor de dilución de la primera etapa = $\frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dil1}}$
DF _{1_s}	Factor de dilución de la primera etapa calculado utilizando [CO ₂] _s y [CO ₂] _{dil1} tomados directamente de la muestra
DF ₂	Factor de dilución de la segunda etapa (VPR) conforme a la calibración de un laboratorio competente
D _m	Diámetro de movilidad eléctrica de nvPM, μm
D _{xy, a z} nm	Diámetro aerodinámico al que se detectan xy % (eficiencia de detección) de las partículas de tamaño z
EI _{mass}	Índice de emisión en masa de nvPM corregido en función de las pérdidas por termoforesis y la composición del combustible, en miligramos/kg de combustible
EI _{num}	Índice de emisión en número de nvPM corregido en función de las pérdidas por termoforesis y la composición del combustible, en número/kg de combustible
F	Empuje en la modalidad de utilización de que se trate
H	Contenido de hidrógeno del combustible (porcentaje de masa)
[HC]	Concentración media de hidrocarburos en muestra de escape, volumen/volumen, húmeda, expresada como carbono
K _{fuel_M}	Factor de corrección por composición del combustible del índice de emisiones de nvPM en masa
K _{fuel_N}	Factor de corrección por composición del combustible del índice de emisiones de nvPM en número
K _{thermo}	Factor de corrección en función de las pérdidas por termoforesis de la Parte de recolección
[NO]	Concentración de gas media de NO en muestra de escape, volumen/volumen, húmeda
[NO ₂]	Concentración de gas media de NO ₂ en muestra de escape, volumen/volumen, húmeda
[NO _x]	Concentración de gas media de NO y NO ₂ en muestra de escape, volumen/volumen, húmeda = [NO+NO ₂]
MC	Masa atómica del carbono = 12,011
MH	Masa atómica del hidrógeno = 1,008
m	Cantidad de átomos de C en molécula de combustible característica
n	Cantidad de átomos de H en molécula de combustible característica
nvPM _{mass}	Concentración en masa de nvPM con el instrumento en condición

	STP, corregida en función de las pérdidas por dilución y termoforesis en la sección de recolección del sistema de muestreo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{nvPM}_{\text{mass_STP}}$	Concentración en masa de nvPM con el instrumento en condición STP, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{nvPM}_{\text{num_STP}}$	Concentración en número de nvPM con el instrumento en condición STP, número/ cm^3
T_{line}	Temperatura de la pared del conducto de muestreo
T_1	Temperatura de la pared en la entrada del equipo de dilución en $^{\circ}\text{C}$
T_{EGT}	Temperatura de los gases en el plano de salida de la tobera de escape del motor en $^{\circ}\text{C}$, medida en el motor o calculada a partir de la performance
t_{90}	Tiempo de respuesta de 90% (tiempo transcurrido entre el cambio de concentración en la entrada y el momento en que el detector llega al 90% de su señal final)
α	Relación atómica entre hidrógeno y carbono del combustible = n/m , donde C_mH_n es la representación equivalente de hidrocarburos del combustible empleado en la prueba y evaluado por referencia al análisis del tipo de combustible del motor.
$\eta_{\text{VPR}}(D_m)$	Coefficiente de penetración de partículas del VPR para partículas de D_m

3. DATOS NECESARIOS

3.1. EMISIONES DE NVPM.-

3.1.1. Para calcular las emisiones en masa y número de nvPM, se han de determinar las siguientes concentraciones:

- a) Masa de nvPM: $\text{nvPM}_{\text{mass_STP}}$;
- b) Número de nvPM: $\text{nvPM}_{\text{num_STP}}$;
- c) Dióxido de carbono (CO_2): $[\text{CO}_2]$ y $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$;
- d) Monóxido de carbono (CO): $[\text{CO}]$;
- e) Hidrocarburos (HC): $[\text{HC}]$ y
- f) Óxidos de nitrógeno (NO_x): $[\text{NO}_x]$, $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc. 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre los datos necesarios.

3.1.2. A los efectos de la verificación de la operabilidad del sistema, se debe determinar la concentración de la siguiente emisión:

Dióxido de carbono (CO_2): $[\text{CO}_2]_s$

3.2. OTRA INFORMACIÓN.-

Para normalizar los datos de mediciones de emisiones y definir las características de las pruebas de motores, se brindará la información adicional enumerada en 3.2 del apéndice 3 y en las tablas A7-7 y A7-2.

<i>Datos necesarios</i>	<i>Unidad</i>
Concentración ambiente en masa de nvPM (nvPM _{mass_STP})	µg/m ³
Concentración ambiente en número de nvPM (DF ₂ × nvPM _{num_STP})	partículas/cm ³

Tabla A7-1. Requisitos de nvPM ambiente

Parámetro	Unidad
Temperatura en la entrada de la sonda (Tengine_exit) (Equivalente a la temperatura TEGT del gas del escape a la salida del motor pronosticada a partir de la actuación)	°C
Temperatura en la entrada del equipo de dilución 1 (T1)	°C
Gastos de flujo individuales (Medición en módulo 3 y módulo 4; estimación práctica en módulo 1, módulo 2)	slpm
Diámetro interno de cada conducto en los módulos 1 a 4	Mm
Longitud interna de cada conducto en los módulos 1 a 4	m
Temperatura de la pared de cada conducto en los módulos 1 a 4	°C
Ángulo total de la(s) curva(s) de la tubería de muestreo del módulo 1	grados
Punto de corte D50 del separador ciclónico (especificación del fabricante)	nm
Eficacia del separador ciclónico (especificación del fabricante)	Fracción decimal
Cuatro valores de penetración del equipo de dilución 1 (véase 7.2.5, tabla A7-4)	Fracción decimal
Cuatro valores de penetración de la calibración del VPR (véase 9.1.1.6, tabla A7-9)	Fracción decimal
Dos rendimientos de conteo de la calibración del CPC	Fracción decimal
Factor de dilución de la primera etapa DF1	
Factor de dilución de la segunda etapa (VPR) DF2	
Concentración en masa de partículas corregida para DF1: DF1×nvPM _{mass_STP}	µg/m ³
Concentración en número de partículas corregida para DF1 y DF2: DF1×DF2×nvPM _{num_STP}	partículas/cm ³

Tabla A7-2. Sistema de muestreo de nvPM y requisitos de parámetros de medición

Nota.- Los módulos del sistema de muestreo y medición de nvPM se describen en la figura A7-1 y la tabla A7-3

4. DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MUESTREO Y MEDICION DE nvPM

4.1. SISTEMA DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE nvPM.-

4.1.1. El sistema de muestreo y medición de nvPM constará de tres partes divididas en cinco secciones:

- a) Parte de recolección (módulo 1);
- b) Parte de transferencia (módulos 2, 3 y 4); y
- c) Parte de medición (módulo 5).

Nota 1.– *La Figura A7-1 y la Tabla A7-3 contienen una descripción general del sistema de muestreo y medición de nvPM.*

Nota 2 – *En 7, 8, 9 y 10 del presente apéndice figuran requisitos y recomendaciones más detallados para cada módulo del sistema.*

4.1.2. Los módulos 1 a 4 cumplirán los siguientes requisitos:

- a) Los conductos de muestreo deben ser lo más directos que sea posible.
- b) La longitud total de los conductos no excederá los 35 m desde el extremo de la sonda hasta la entrada del instrumento de medición. Esta longitud total no equivale a la suma de longitudes máximas permisibles de cada módulo de muestreo. En el 7 del presente Apéndice figuran los requisitos de longitud detallados, que se ilustran en la Figura A7-1.

4.1.3. A continuación se detallan recomendaciones para los módulos 1 a 4:

- a) Se debería reducir al mínimo la cantidad de conexiones, que deberían estar hechas de acero inoxidable con un diámetro interior liso.
- b) Se debería reducir al mínimo la cantidad de conexiones de unión del mamparo, que deberían contar con aislamiento térmico para reducir al mínimo los gradientes de temperatura.

Nota.- *El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II – Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.*

4.1.4. Los módulos 2 a 4 deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Los radios de toda curvatura necesaria de los conductos de muestreo deben ser más de 10 veces superiores al ID de los conductos.
- b) No habrá bordes de escalones hacia el frente de tamaño mayor al 15% del ID.
- c) Los cambios en el ID del conducto de muestreo que superen el 15% solo podrán producirse en una interfaz con el conducto del separador.
- d) Las diferencias de ID menores o iguales a 15% no se considerarán cambios.

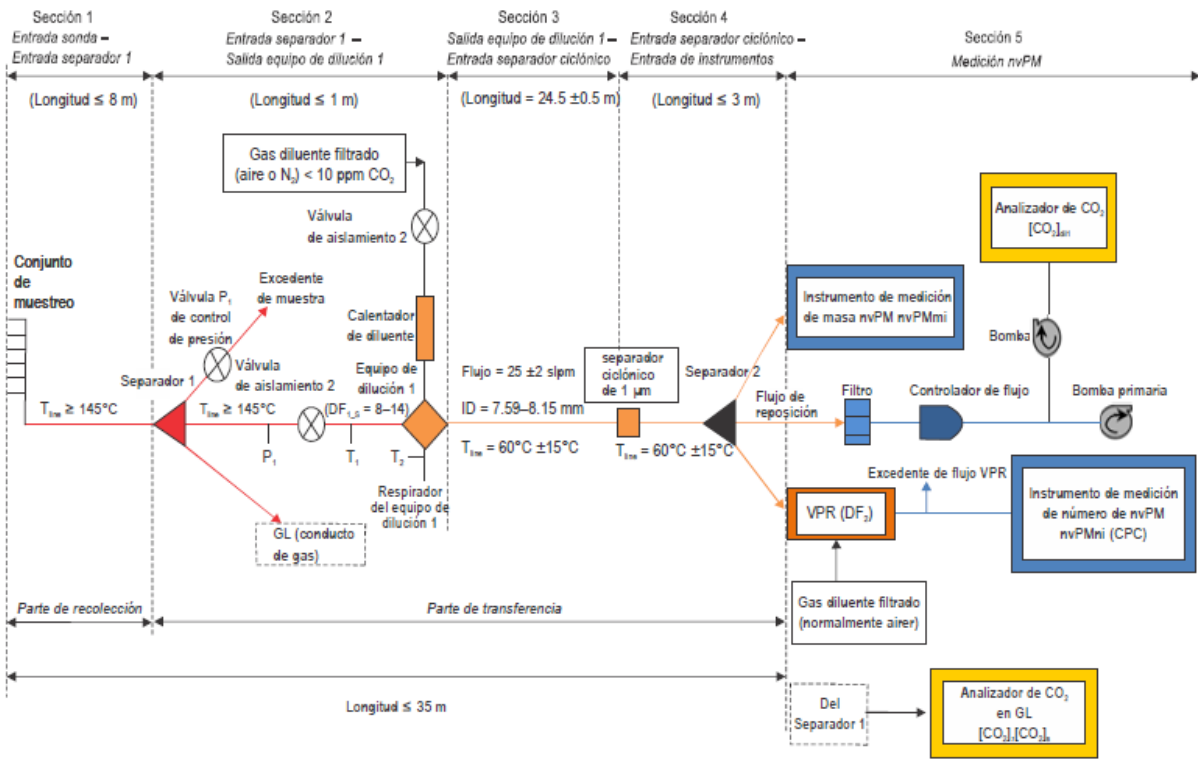


Figura A-7.1 Esquema general de un sistema de muestreo y medición de nvPM

4.1.5. Para los módulos 2 a 4 se debe calentar activamente el conducto de muestreo a través de una conexión. Si esto no resulta práctico, se debe calentar el conducto de muestreo lo más cerca posible del elemento caliente más próximo y se debe aislar a lo largo de la conexión.

4.2. Parte de recolección

4.2.1. El módulo 1 consta de la sonda o el tubo de muestreo y el conducto de conexión. Debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El material de la sonda de muestreo debe ser de acero inoxidable o cualquier otro material no reactivo a altas temperaturas.
- b) Si se emplea una sonda con orificios de muestreo múltiples:
 - 1) Todos los orificios tendrán el mismo diámetro; y
 - 2) 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 debe ser de 12.

<i>Terminología</i>		<i>Descripción</i>
Módulo 1	Conjunto de sonda de muestreo	Aparato de tubos de uno o múltiples orificios utilizado para obtener una muestra representativa del escape del motor de una aeronave.
	Conducto de conexión	Longitud de la tubería que transporta la muestra de la sonda a la entrada del separador 1.
Módulo 2	Separador 1	Conjunto separador de flujo para permitir la separación controlada de muestras destinadas a los sistemas de muestreo de partículas y gases. También suministra un conducto (excedente de muestra) para aliviar y controlar la presión del conducto de muestreo.
	Válvula P ₁ de control de presión	Válvula utilizada para controlar la presión en la entrada del equipo de dilución 1.
	P ₁	Presión en la entrada del equipo de dilución 1; regulada por la válvula de control de presión cuando el nivel de P ₁ es superior al ambiental.
	T ₁	Temperatura del tubo de muestra en la entrada del equipo de dilución 1 necesaria para el cálculo de pérdida por termoforesis de partículas en los módulos 1 y 2.
	Válvula de aislamiento 1	Permite aislar el sistema de partículas de la muestra del GL y buscar fugas en el GL (sonda incluida) y verificar la limpieza de la parte de transferencia.
	Válvula de aislamiento 2	Válvula de cierre del paso de diluentes por el equipo de dilución 1
	Equipo de dilución 1	Equipo de dilución 1 de tipo eyector, que aplica una presión cercana a la ambiente a la entrada del módulo 3. Diluye la muestra de nvPM al comienzo de la parte de transferencia (dilución de la primera etapa, DF1) para que sea mínima la coagulación de las partículas y disminuye la temperatura de la muestra para reducir al mínimo las pérdidas por termoforesis.
	Gas diluyente filtrado	Gas comprimido (nitrógeno o aire) para el equipo de dilución 1.
	Calentador de diluyente	Calienta el diluyente antes de que ingrese en el equipo de dilución 1.
	Respiradero del equipo de dilución 1	Permite ventilar el exceso de muestra diluida en la atmósfera para mantener una presión cercana a la ambiente en el escape del equipo de dilución 1 e impedir que se suministre una presión excesiva a la parte de transferencia

	T ₂	Temperatura en el flujo del respiradero para supervisar la temperatura de la salida del equipo de dilución 1
GL		Conducto de gas. Sección calentada para transportar la muestra del escape a fin de realizar mediciones de las emisiones gaseosas.
Módulo 3	Conducto caliente de muestreo	Sección de muestreo normalizada. Permite efectuar mediciones a una distancia segura del motor.
Módulo 4	Separador ciclónico de 1 µm	Elimina las partículas de gran tamaño que se generaron por combustión y ayuda a prevenir obstrucciones en los instrumentos
	Separador 2	Conjunto separador de flujo que provee conductos para las muestras para la medición de la concentración en masa y número de nvPM y un tercero para mantener el gasto total de flujo del sistema en el módulo 3.
Módulo 5	Filtro	Filtro de partículas para prevenir obstrucciones y daño al controlador de flujo.
	Controlador de flujo	Mantiene un gasto de flujo constante en el módulo 3 controlando el flujo de reposición.
	Bomba primaria	Provee succión para el flujo de reposición
	Analizador de CO ₂	Medición de [CO ₂] _{dil1} en la muestra diluida
	nvPM	Instrumento de medición de masa de nvPM
	VPR (DF ₂)	Dispositivo que elimina elementos volátiles y diluye aún más la muestra (segunda etapa de dilución, DF ₂) antes de que esta pase por el nvPMni.
	Gas diluyente filtrado	Gas diluyente (nitrógeno o aire) para el VPR.
	nvPMni (CPC)	Instrumento de índice de nvPM que es un contador de partículas de condensación.

Tabla A7-1. Terminología general del sistema de muestreo y medición de nvPM

- d) El plano de muestreo debe estar 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 el diámetro de 0,5 de la tobera.
- e) El solicitante debe demostrar a la DINAC, 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.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre procedimientos para mediciones representativas.

4.3. PARTE DE TRANSFERENCIA.-

4.3.1. En la entrada de la sección 2, el conjunto de Separador 1 dividirá la muestra entre el conducto de la parte de transferencia, el GL para la medición de CO₂, CO, HC, y NO_x sin diluir, y el conducto del excedente de muestra.

Nota.- Esta disposición también permite utilizar el GL para medir el Índice de humo, si procede, especificado en el Apéndice 2.

4.3.2. Se debe disponer el conducto de la parte de referencia de modo que la muestra de nvPM:

- a) Pase a través del equipo de dilución 1, de dilución de tipo eyector, que recoge, diluye y enfría la muestra;
- b) Pase a través de la sección 3; y
- c) Pase por un separador ciclónico y el separador 2 en la sección 4 antes de ingresar en la parte de medición, del módulo 5.

4.4. PARTE DE MEDICIÓN. -

4.4.1. Medición en masa nvPM.-

4.4.1.1. El nvPM_{mi} debe cumplir los requisitos de 8.1 del presente apéndice.

4.4.1.2. Cada marca y modelo de nvPM_{mi} recibirá un certificado del fabricante del instrumento o de otro laboratorio de prueba y calibración competente que confirme que la marca y el modelo del nvPM_{mi} cumplen las especificaciones de actuación que se enumeran en la Tabla A7-5 del presente apéndice.

4.4.2. Medición de número de nvPM.-

4.4.2.1. Se determinará la concentración en número de nvPM mediante un sistema que consta de un eliminador de partículas volátiles (VPR) y un contador de partículas de condensación (CPC) (nvPM_{ni}) conectados en serie. El VPR incluye un sistema de dilución (DF₂) y un dispositivo para eliminar especies volátiles.

4.4.2.2. Cada marca y modelo de VPR y CPC debe recibir un certificado del fabricante del instrumento o de otro laboratorio de prueba y calibración competente que confirme que la marca y el modelo de cada dispositivo cumplen las especificaciones de actuación que se enumeran en el Adjunto C del presente apéndice.

4.4.3. Conducto del flujo de reposición

- a) Se utilizará el conducto del flujo de reposición para mantener un gasto de flujo constante de la muestra a través de la sección 3 y proporcionar una medición de la concentración de CO₂ de la muestra diluida.
- b) El conducto del flujo de reposición debe contener una bomba, un controlador del flujo y un analizador de CO₂.
- c) Se debe colocar un filtro de partículas aguas arriba del controlador de flujo para impedir que se dañen los componentes.

5. PROCEDIMIENTOS A SEGUIR AL HACER EL ENSAYO GENERAL

5.1. CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO.-

5.1.1. Se debe llevar a cabo el mantenimiento de todos los instrumentos conforme a las indicaciones del fabricante.

5.1.2. Sistema de muestreo y medición de nvPM

Se debe efectuar la calibración y el mantenimiento del sistema de muestreo y medición de nvPM como se indica a continuación, con una frecuencia anual o siguiendo las recomendaciones del fabricante:

- a) Se vaciará y limpiará el depósito de recolección del separador ciclónico.
- b) Se limpiará la boquilla del orificio del equipo de dilución 1.
- c) Se calibrará el gasto de flujo del controlador de flujo de reposición y de la entrada del nvPMmi, nvPMni y VPR con un caudalímetro trazable a las normas del NMI.
- d) Todos los gastos de flujo calibrados deberían encontrarse dentro del 5% de FS.
- e) Se calibrarán transductores de presión mediante un transductor de presión trazable a las normas del NMI.
- f) Todas las mediciones de presión calibradas deberían encontrarse dentro del 2% de FS.

5.1.3. nvPMmi

- a) Debe calibrar anualmente el nvPMmi un laboratorio competente para cumplir los requisitos de calibración que figuran en 8.5 del presente apéndice.
- b) El nvPMmi debe mostrar el cumplimiento de las especificaciones de actuación que se enumeran en 8.1 del presente apéndice si se producen cambios de hardware o software en el nvPMmi que afecten la adquisición y el procesamiento de datos.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II – Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.

5.1.4. VPR

- a) Debe calibrar anualmente el VPR un laboratorio competente para cumplir los requisitos que figuran en el 9.2.1 del presente apéndice.
- b) Si el VPR contiene un convertidor catalítico, el reemplazo de este componente se efectuará conforme a las indicaciones del fabricante.
- c) El VPR debe cumplir los requisitos que se enumeran en 9.1.1 del presente apéndice si se producen cambios de hardware o software en el VPR que afecten la adquisición y el procesamiento de datos.

5.1.5. nvPMni (CPC)

- a) Debe calibrar anualmente el nvPMni un laboratorio competente para cumplir los requisitos de calibración que figuran en 9.2.2 del presente apéndice.
- b) El fluido de trabajo del nvPMni debe ser el n-butanol y se reemplazará conforme a las indicaciones del fabricante.
- c) El nvPMni demostrará el cumplimiento de las especificaciones de actuación que se enumeran en 9.1.3 del presente apéndice si se producen cambios de hardware o software en el nvPMni que afecten la adquisición y el procesamiento de datos.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II – Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.

5.1.6. Analizadores de gases

- a) La calibración de los analizadores de CO₂, CO, HC y NO_x se debe llevar a cabo de conformidad con los procedimientos del Apéndice 3.
- b) El gas de calibración Z (cero) del analizador de CO₂ aguas abajo del equipo de dilución 1 tendrá un nivel de impurezas de CO₂ inferior a 10 ppm.

Nota.- La especificación de impurezas de CO₂ para el analizador de CO₂ aguas abajo del equipo de dilución 1 es diferente de aquella del 6.2 del Apéndice 3.

- c) El diluyente del equipo de dilución 1 debe ser el mismo que el gas de calibración Z usado para el analizador de CO₂.

5.2. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.-

5.2.1. El motor se debe hacer funcionar en instalaciones de pruebas estáticas apropiadas y debidamente equipadas para hacer ensayos de performance de gran precisión.

5.2.2. Los ensayos de las emisiones de nvPM se harán a los reglajes de empuje prescritos por la DINAC. A cada reglaje, habrá que estabilizar el motor.

5.3. 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 una precisión de $\pm 15\%$ para la modalidad rodaje/marcha lenta en tierra y con una precisión de $\pm 10\%$ para todas las demás modalidades de utilización.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II – Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre el uso de un procedimiento equivalente.

5.4. UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE nvPM.-

5.4.1. Antes de una serie de pruebas de un motor, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Se deben realizar verificaciones de fugas y limpieza de la parte de recolección aplicando los procedimientos descritos en 10.1 y 10.2 del presente apéndice.
- b) Se debe efectuar una verificación del factor de dilución (DF2) del VPR descrita en 10.3 del presente apéndice.
- c) Se debe realizar verificaciones de la limpieza de la parte de transferencia aplicando los procedimientos descritos en 10.3 del presente apéndice.

Nota.- La verificación de la limpieza de la parte de transferencia también sirve como verificación en servicio Z de los instrumentos de medición de nvPM.

5.4.2. Se debe adoptar el siguiente procedimiento para mediciones de gases en el GL y aguas abajo del equipo de dilución 1:

- a) Aplíquese el gas Z apropiado y háganse los ajustes necesarios del instrumento.

- b) Aplíquese el gas de calibración apropiado del 90% de la concentración correspondiente a FS para abarcar los rangos que haya que utilizar y ajústese y anótese debidamente la posición del regulador de ganancia.

5.4.3.

Durante una serie de pruebas de un motor, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Solo se tomarán mediciones de nvPM una vez que todos los instrumentos y conductos de transferencia de muestras hayan sido calentados y se encuentren estables.
- b) Si algún componente o sección del sistema de muestreo de nvPM es nuevo, fue limpiado tras el último uso o empleado con anterioridad para un fin distinto del muestreo del escape de un motor, el sistema de muestreo de nvPM tomará muestras del escape del motor de la aeronave durante 30 minutos, como mínimo, a cualquier potencia del motor, antes de efectuar mediciones de nvPM.

Nota.- La eliminación de obstrucciones por hollín del orificio del equipo de dilución 1 no constituye un proceso de limpieza según la definición de b).

- c) Se llevarán a cabo las verificaciones de operabilidad del nvPMmi recomendadas por el fabricante.
- d) Para las mediciones en número de nvPM, se cumplirán los siguientes requisitos:
- 1) En la etapa caliente, el VPR está a $350^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
 - 2) Si se usa un convertidor catalítico en el VPR, el diluyente contendrá al menos 10% de O_2 .
 - 3) El fluido de trabajo del nvPMni se encuentra en el nivel exigido por el fabricante.
 - 4) El saturador del nvPMni y el condensador alcanzaron la temperatura de funcionamiento correcta.
- e) Se llevarán a cabo las verificaciones de operabilidad del nvPMni recomendadas por el fabricante.
- f) Se realizarán verificaciones de limpieza de la parte de transferencia al comienzo y al final de una prueba de motor aplicando los procedimientos descritos en 10 del presente apéndice.

Nota.- La medición del ambiente sirve también como verificador de respuesta del nvPMni en servicio.

- g) Se verificarán nuevamente los puntos Z y de calibración del analizador de gases al final de la prueba y a intervalos no superiores a 1 hora durante las pruebas. Si alguno de los dos ha variado en más de $\pm 2\%$ del FS, se repetirá la prueba tras recalibrar el instrumento a los valores dentro de la especificación.

5.4.3.1.

Se debe purgar la sección 1 durante el inicio y la detención del motor con los analizadores de medición aislados.

Nota.- El purgado sirve para que no se produzca ninguna contaminación significativa del combustible en el sistema de muestreo.

5.4.4. Durante las mediciones de nvPM del motor, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Si el valor de P_1 es inferior a la presión atmosférica, se cerrará la válvula P_1 de control de presión; y, si está instalada, se cerrará también la válvula opcional de cierre.
- b) Se medirán continuamente la concentración de CO_2 en el GL y la concentración de CO_2 aguas abajo del equipo de dilución 1, $[CO_2]_{dil1}$, y se utilizarán para validar y controlar DF_1 en tiempo real ($DF_{1,S}$) para que su valor se encuentre dentro del rango de 8 a 14. Se define $DF_{1,S}$ como:

$$DF_{1,S} = \frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dil1}}$$

Nota.- El cálculo de $DF_{1,S}$ no requiere la concentración seca de CO_2 .

- c) Se vigilará que el gasto del flujo de la muestra se mantenga en 25 slpm ± 2 slpm en la sección 3 sumando el gasto de flujo de reposición y de la entrada del nvPMmi y el VPR.
- d) Cuando el funcionamiento del motor y la concentración de nvPM y $[CO_2]_{dil1}$ medidas sean estables al reglaje del empuje requerido, se promediará y anotará un mínimo de 30 segundos de datos.
- e) Si el nvPMmi no tiene una medición de presión de la muestra, se medirá la presión en un lugar ubicado entre la salida del separador 2 y la entrada del flujo de reposición; se tomará nota de esa medición.
- f) Si el nvPMni no tiene una medición de presión de la muestra, se medirá la presión en un lugar ubicado entre la salida del VPR y la entrada del nvPMni; se tomará nota de esa medición.

6. CÁLCULOS

6.1. ECUACIONES DE LA CONCENTRACIÓN EN MASA DE NVPM Y LOS ÍNDICES DE EMISIÓN DE NVPM EN MASA Y NÚMERO. -

Este procedimiento se emplea para calcular ecuaciones de concentración en masa de nvPM e índices de emisión (EI) de nvPM en masa y número de motores de turbinas de gas de aeronaves que queman combustible hidrocarbúrico en el aire. Todas las ecuaciones utilizan la concentración en masa y la concentración en número de nvPM con el instrumento en condiciones STP. Si no es este el caso, el usuario seguirá los procedimientos recomendados por el fabricante del instrumento para corregir las concentraciones notificadas a condiciones STP para el instrumento.

6.1.1. Concentración en masa nvPM

La concentración en masa de nvPM ($nvPM_{mass}$) representa la masa de partículas por volumen unitario de muestra del escape del motor corregida en función del factor de dilución (DF_1) y las pérdidas por termoforesis de partículas de la Parte de recolección. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$nvPM_{mass} = DF_1 \times nvPM_{mass_STP} \times k_{thermo}$$

6.1.2. Índices de emisión de nvPM en masa y número

Los índices de emisión de nvPM en masa y número (EI_{mass} y EI_{num}) representan la masa (en miligramos) y el número de partículas por masa de combustible quemado (en kilogramos) corregidos en función de los factores de dilución respectivos, las pérdidas de partículas por termoforesis en la Parte de recolección y sus respectivos factores de corrección por composición del combustible. Se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$EI_{mass} = \frac{22,4 \times nvPM_{mass_STP} \times 10^{-3}}{\left([CO_2]_{dil1} + \frac{1}{DF_1} ([CO] - [CO_2]_b + [HC]) \right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo} \times k_{fuel_M}$$

$$EI_{num} = \frac{22,4 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP} \times 10^6}{\left([CO_2]_{dil1} + \frac{1}{DF_1} ([CO] - [CO_2]_b + [HC]) \right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{thermo} \times k_{fuel_N}$$

Se calculará $[CO_2]$, $[CO]$ y $[HC]$.

Nota 1.- Los métodos para calcular $[CO_2]$, $[CO]$ y $[HC]$ figuran en el adjunto A.

Nota 2.- La constante 22,4 empleada anteriormente en las ecuaciones de EI es el volumen de un mol de aire en litros en condiciones STP redondeado hasta el primer decimal.

Nota 3.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre el uso de un procedimiento equivalente.

6.2. FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LAS EMISIONES DE nvPM.-

6.2.1 Corrección de las pérdidas por termoforesis de nvPM en la parte de recolección

La corrección de las pérdidas por termoforesis de nvPM en la parte de recolección se determinará utilizando:

$$K_{thermo} = \left(\frac{(T_1 + 273,15)}{T_{EGT} + 273,15} \right)^{-0,38}$$

Si $T_{EGT} < T_1$ entonces $K_{thermo} = 1$

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.

6.2.2 Corrección por los efectos de la composición del combustible

La corrección por los efectos de la composición del combustible se determinará con las siguientes ecuaciones:

$$K_{fueS_M} = \exp \left\{ \left(1,08 \frac{F}{F_{00}} - 1,31 \right) (13,8 - H) \right\}$$

$$K_{fueS_N} = \exp \left\{ \left(0,99 \frac{F}{F_{00}} - 1,05 \right) (13,8 - H) \right\}$$

Nota.- En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones figuran orientaciones al respecto.

6.3 FUNCIONES DEL PARÁMETRO REGULADOR

Se normalizará el EI a la temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión del motor normal de referencia en condiciones ISA al nivel del mar.

6.3.1 Definiciones

Motor normal de referencia: aquél configurado fundamentalmente siguiendo la norma de producción aplicable al tipo de motor en cuestión y que posee características de operación y performance perfectamente representativas.

F_{00} Empuje nominal (véase Parte I, Capítulo 1, Definiciones)

F_n Empuje en la modalidad “n” de utilización para las emisiones de nvPM notificadas (kN)

W_f Gasto del flujo de la masa del combustible del motor normal de referencia en condiciones ISA al nivel del mar (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.

T_B Temperatura en la boca de entrada de la cámara de combustión

6.3.2 Se obtendrán (EI) de nvPM en masa y número para cada modalidad de utilización LTO a la T_B del motor normal de referencia. Se requerirán tres puntos de prueba, como mínimo, para determinar la modalidad de marcha lenta. Se obtendrá el gasto del flujo de combustible del motor normal de referencia en condiciones ISA al nivel del mar para cada modalidad de utilización LTO. Se determinarán las siguientes relaciones en condiciones de referencia ISA para los IE de nvPM en masa y número:

a) Entre EI y T_B ; y

b) Entre W_f y T_B ; y

c) Entre F_n y T_B ;

Nota 1.- Estas relaciones están ilustradas, por ejemplo, en la Figura A7-2 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.

6.4 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.-

El cálculo de EI (con referencia a T_B) para las emisiones en masa y número de nvPM en las modalidades de utilización notificadas cumplirá el siguiente procedimiento general:

- a) Determinar la temperatura (T_B), [Figura A7-2 c] en la boca de entrada de la cámara de combustión para los valores de F_n correspondientes a las modalidades de utilización notificadas, n , en condiciones atmosféricas de referencia.
- b) Partir de la curva característica EI/ T_B [Figura A7-2 a)], determínese el valor EI $_n$ correspondiente a T_B .
- c) Partir de la curva característica W_f/T_B [Figura A7-2 b)], determínese el valor W_{fn} correspondiente a T_B .

d) Calcúlese, para $LTO_{mass} = \sum (EI_{massn})(W_{fn})(t)$ donde:

t es el tiempo en la modalidad (minutos),

W_{fn} es el gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min), y

\sum es la suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO.

e) Calcúlese, para $LTO_{num} = \sum (EI_{numn})(W_{fn})(t)$ donde:

t es el tiempo en la modalidad (minutos),

W_{fn} es el gasto del flujo de la masa de combustible (kg/min), y

\sum es la suma de la serie de modalidades que comprende el ciclo de referencia LTO

Nota.- Si bien la metodología descrita es la recomendada, la DINAC 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.

6.5 EXCEPCIONES EN CUANTO A LOS PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS

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

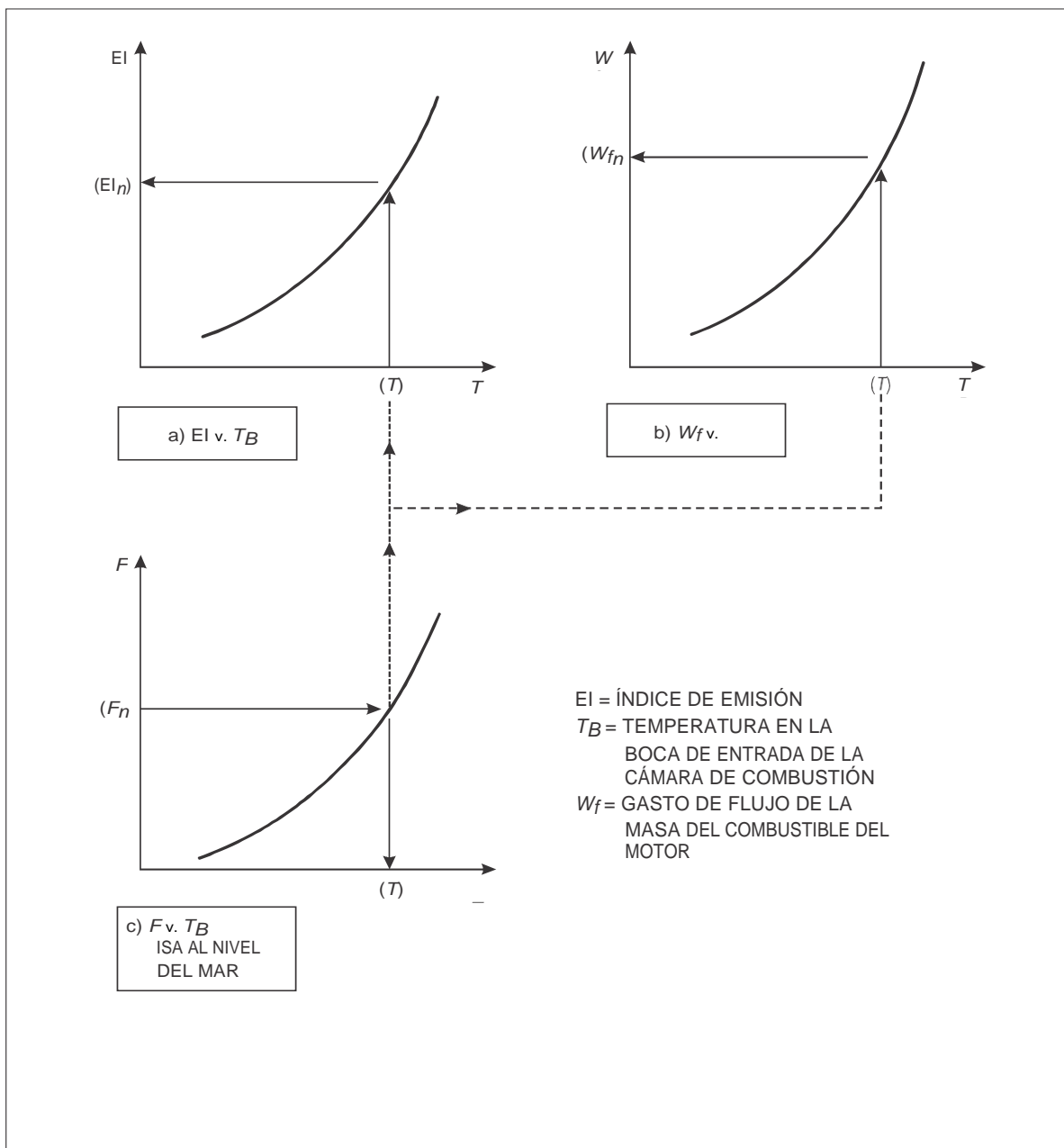


Figura A7-2. EI de nvPM de la turbina de un motor como función de varios parámetros del motor

7. REQUISITOS Y RECOMENDACIONES PARA EL SISTEMA DE MUESTREO DE nvPM

7.1 SECCIÓN 1: ENTRADA DE LA SONDA – ENTRADA DEL SEPARADOR 1.-

7.1.1 La sección 1 debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Se debe transferir la muestra de la sonda a la sección 2 a través de un conducto de 4,0 a 8,5 mm de ID a través del camino más corto que sea viable.
- b) Se debe mantener el conducto de muestreo a una temperatura mayor o igual a 145°C.
- c) La longitud desde la entrada de la sonda a la entrada del separador 1 debe ser menor o igual a 8 m.

7.2 SECCIÓN 2: ENTRADA DEL SEPARADOR 1 – SALIDA DEL EQUIPO DE DILUCIÓN.-

7.2.1 La sección 2 debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) La sección 2 contendrá el separador 1 y el equipo de dilución 1.
- b) El material del conducto de muestreo debe ser tal que permita reducir al mínimo la acumulación de materia particulada o electricidad estática.

***Nota.-** El acero inoxidable o el politetrafluoroetileno (PTFE) con partículas de carbono y conexión a tierra satisfacen estos requisitos.*

- c) La longitud de la sección 2 de la entrada del separador 1 a la salida del equipo de dilución 1 no superará 1 m.
- d) La sección 2 contendrá la válvula de aislamiento 1 para efectuar la verificación de fugas en el GL.

7.2.2 El separador 1 debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El separador 1 debe ser de acero inoxidable.
- b) Se debe mantener el cuerpo del separador 1 a una temperatura mayor o igual a 145°C.
- c) El separador 1 dividirá la muestra del escape del motor en tres conductos.
- d) Los ángulos de división respecto del flujo entrante deben ser lo más agudos que resulte viable, pero no debe exceder los 35°.
- e) La trayectoria de la muestra de nvPM debe ser lo más directa y corta posible.
- f) La geometría interna del separador 1 debe cumplir los siguientes requisitos:
 - 1) No habrá bordes de escalones hacia el frente en la pared interna.
 - 2) No variará el ID de la salida del separador 1 respecto de la entrada del equipo de dilución 1.
 - 3) GL ID = 4 a 8,5 mm.
 - 4) La superficie transversal interna del conducto del excedente de muestra debe ser mayor o igual a la superficie total de los extremos de la sonda.

- 7.2.3** La válvula de aislamiento 1 debe cumplir los siguientes requisitos:
- a) Se colocará la válvula de aislamiento entre la salida del separador 1 y la entrada del equipo de dilución 1.
 - b) La válvula de aislamiento 1 debe ser de diámetro completo, sin bordes de escalones hacia el frente de tamaño mayor al 15% del ID.
 - c) Los sellos de la válvula de aislamiento 1 deben ser juntas secas y resistentes al calor hasta 175°C.

7.2.4 Se debe mantener la temperatura de la pared del conducto de nvPM de la sección 2 (T_1) hasta dentro de los 5 cm del plano de mezcla del equipo de dilución 1 a un valor mayor o igual a 145°C, como se muestra en la Figura A7-3.

- 7.2.5** El equipo de dilución 1 debe cumplir los siguientes requisitos:
- a) El equipo de dilución 1 debe ser de tipo eyector.
 - b) El ID de la entrada del equipo de dilución 1 debe ser mayor o igual a 7,59 mm.
 - c) Se controlará el flujo del diluyente de conformidad con las especificaciones del fabricante.
 - d) Se controlará el DF del equipo de dilución 1 en tiempo real para que se mantenga en el rango de 8 a 14.

Nota 1.- Se requiere un DF mínimo para reducir la coagulación de nvPM al mínimo, mientras que el máximo es necesario para mantener la muestra diluida dentro del rango de medición de los instrumentos.

Nota 2.- Se puede ajustar el DF_1 controlando la P_1 con la válvula de control de presión en el paso del flujo del excedente de muestra o ajustando el flujo del gas diluyente.

- e) El respiradero del equipo de dilución 1 debe estar abierto a la presión ambiente (igual a la presión en la entrada del motor).
- f) Se calentará el cuerpo del equipo de dilución 1 a 60°C ±15°C como se muestra en la Figura A7-3.
- g) El diluyente debe ser nitrógeno o aire, debe estar filtrado mediante HEPA y contendrá menos de 10 ppm de CO₂.
- h) Se calentará el diluyente para que la muestra de nvPM diluida tenga una temperatura de 60 °C ±15 °C en el respirador del equipo de dilución 1 (T_2).
- i) La penetración de partículas del equipo de dilución 1 cumplirá los requisitos mínimos de la Tabla A7-2.

Tamaño de movilidad de partículas (diámetro)	15nm	30nm	50nm	100nm
Coeficiente mínimo de penetración de partículas	80%	90%	90%	90%

TABLA A7-2: Requisitos mínimos de los coeficientes de penetración de partículas (rendimientos de transmisión) del equipo de Dilución 1

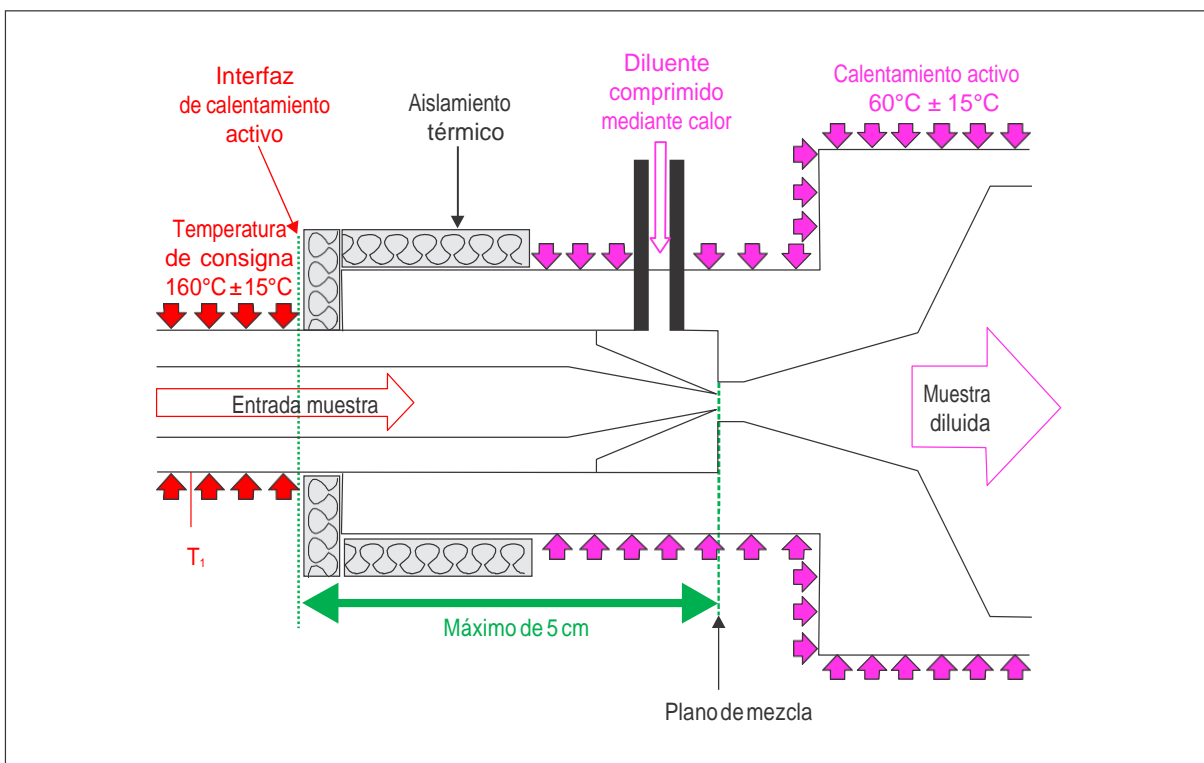


Figura A7-3. Corte transversal de entrada de un ejemplo de equipo de dilución 1 de tipo eyector con interfaz de calentamiento

7.2.5.1 Para reducir al mínimo el impacto en el rango operable de equipo de dilución 1, en la medida de lo posible.

7.2.5.2 Se debe incorporar una medida de seguridad para impedir que se recaliente el calentador del diluyente cuando éste no esté circulando.

7.2.6 Conducto de gas

7.2.6.1 El GL y los analizadores de emisiones gaseosas deben cumplir las especificaciones del Apéndice 3 y los adjuntos del Apéndice 3.

Nota.- La parte de recolección (sección 1) del sistema de muestreo y medición de mph cumple las especificaciones del Apéndice 3.

7.2.6.2 Para determinar el EI de nvPM, se deben efectuar, simultáneamente, las mediciones de las concentraciones gaseosas de CO, HC y NOx en el GL.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II □ Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.

7.2.6.3 Para determinar el DF_{1,s}, se efectuará la medición de GL de la concentración de CO₂ (seco, semiseco o húmedo) simultáneamente con las mediciones de nvPM.

7.2.7 Conducto del excedente de muestra

7.2.7.1 Se debe mantener la presión del conducto de muestreo en la entrada del equipo de dilución 1 (P_1) en valores cercanos a los de la presión del aire ambiente por medio de una válvula de control de presión que tenga una superficie interna suficiente. Cuando esté completamente cerrada, la válvula debe poder mantener una presión de vacío de -75kPa respecto de la presión ambiente.

7.2.7.2 Se debe agregar una válvula de cierre opcional, con superficie interna suficiente para evitar la contrapresión del sistema aguas abajo de la válvula de control de presión para impedir fugas en condiciones subatmosféricas dentro del separador 1.

7.3 SECCIÓN 3: SALIDA DEL EQUIPO DE DILUCIÓN 1– ENTRADA DEL SEPARADOR CICLÓNICO. -

7.3.1 El conducto de muestreo debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El conducto de muestreo debe ser de PTFE con partículas de carbono y conexión a tierra.
- b) *El conducto de muestreo debería cumplir la especificación relativa a la protección antiestática de la norma ISO 8031.*
- c) El conducto de muestreo tendrá un ID de entre 7,59 y 8,15 mm.

Nota.- *En lo que respecta a las tolerancias de fabricación, la especificación de ID del conducto de muestreo corresponde a conductos disponibles en el mercado de 3/8 pulgadas y 7/16 pulgadas de diámetro externo, ambos con un grosor de pared de 0,035 pulgadas; y de 10 mm con un grosor de pared de 1 mm.*

- d) El conducto debe tener 24,5 m \pm 0,5 m de longitud, no poseer conexiones innecesarias y constar de tres segmentos, como máximo.
- e) El radio de curva enrollada del conducto de muestreo debe ser mayor a 0,5 m.
- f) Se debe mantener la temperatura del conducto de muestreo a 60°C \pm 15°C mediante calentamiento activo.
- g) Se debe mantener el flujo de la muestra a 25 slpm \pm 2 slpm.

7.4 SECCIÓN 4: SALIDA DEL SEPARADOR CICLÓNICO – ENTRADA DEL INSTRUMENTO.-

7.4.1 Separador ciclónico

El separador ciclónico debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El separador ciclónico debe ser de acero inoxidable.
- b) Se calentará el separador ciclónico a 60°C \pm 15°C

- c) El ID de la entrada y salida del separador ciclónico tendrá una diferencia de menos de un 15% del ID de la entrada y salida del conducto de muestreo.
- d) La actuación del separador ciclónico a un gasto del flujo de la muestra de 25 slpm debe cumplir las siguientes especificaciones:
 - 1) Punto de corte: $D_{50} = 1,0\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$;
 - 2) Eficacia: $(D_{16}/D_{84})_{0,5}$ menor o igual a 1,25; y
 - 3) Caída de presión: ΔP menor o igual a 2 kPa.

7.4.2 Separador 2

El separador 2 debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El cuerpo del separador 2 debe ser de acero inoxidable
- b) Se debe calentar el separador 2 a $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- c) El separador 2 dividirá la muestra en tres conductos para enviar la muestra de nvPM diluida al:
 - 1) NvPMmi;
 - 2) VPR;
 - 3) Flujo de reposición.
- d) Los ángulos de división respecto del flujo entrante deben ser lo más agudos que resulte viable, pero no debe exceder los 35° .
- e) Todos los conductos de flujo de nvPM deben ser lo más cortos posible.
- f) La geometría del separador 2 debe cumplir los siguientes requisitos:
 - 1) No habrá bordes hacia el frente en la pared interna;
 - 2) No variará el ID de la salida del separador 2 a la entrada del nvPMmi; y
 - 3) No variará el ID de la salida del separador 2 a la entrada del VPR.

7.4.3 Interfaz del sistema de medición

Los conductos de muestreo hacia el nvPMmi y el VPR deben cumplir lo siguiente:

- a) El conducto de muestreo debe ser de acero inoxidable o PTFE con partículas de carbono y conexión a tierra.
- b) Si es de PTFE con partículas de carbono y conexión a tierra, el conducto de muestreo tendría que cumplir *la especificación relativa a la protección antiestática de la norma ISO 8031*.

- c) Debe calentarse el conducto de muestreo a $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- d) No debe variar el ID entre el conducto de muestreo y las entradas de los instrumentos.
- e) Cada longitud total de conducto de la entrada del separador ciclónico a la entrada del nvPMmi y el VPR debe ser lo más corta que sea posible y no debe exceder los 3 m.

7.5 SECCIÓN 5: MEDICIÓN DE nvPM.-

7.5.1 Flujo de reposición

7.5.1.1 Los componentes del conducto de flujo de reposición deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) La bomba primaria y el controlador de flujo debe mantener un gasto total constante del flujo de la muestra (suma del gasto de flujo de reposición, nvPMmi y VPR), de $25 \text{ slpm} \pm 2 \text{ slpm}$ hasta 10 kPa por debajo de la presión ambiente, en toda la sección 3.
- b) El analizador de CO_2 debe analizar continuamente la concentración de CO_2 aguas abajo del equipo de dilución 1, $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$, durante la medición de nvPM.

Nota 1.- Según la configuración de muestreo, es posible que haya varios controladores de flujo y bombas.

Nota 2.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II - Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.

7.5.1.1.1 Se deben colocar filtros de partículas aguas arriba de los controladores de flujo para impedir que se dañen los componentes.

7.5.1.2 Si el nvPMmi no tiene una medición de presión de la muestra, se debe medir la presión en la salida del separador 2 hacia el paso del flujo de reposición.

7.5.1.3 El analizador de CO_2 debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El analizador de CO_2 debe estar ubicado a continuación de un controlador de flujo.
- b) El analizador de CO_2 debe cumplir las especificaciones de actuación que figuran en el Adjunto B del Apéndice 3, bajo los títulos “Analizadores de CO y CO_2 ” y “Analizador de CO_2 ”, con la excepción de a).

7.5.1.3.1 El rango total del analizador de CO_2 debería ser unas diez veces menor que el analizador de CO_2 utilizado en el GL.

8. ESPECIFICACIONES Y CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE MASA DE nvPM

Nota 1.- En el presente adjunto se utiliza la masa del carbono elemental (EC) como sustituto de la masa de nvPM. El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene orientación al respecto.

Nota 2.- La sección 2 de este adjunto contiene un texto descriptivo completo del método de referencia de medición de la transmitancia termoóptica (TOT). Este método se aplica comúnmente en laboratorios de calibración; no se pretende que lo aplique el fabricante del motor de la aeronave.

Nota 3.- En el presente adjunto se utiliza la siguiente referencia ISO: Organización Internacional de Normalización, Calidad del aire — Definición y determinación de las características de funcionamiento de un sistema automático de medida. (ISO 9169: 2006).

8.1 ESPECIFICACIONES. -

Cada marca y modelo de nvPMmi recibirá un certificado del fabricante del instrumento o de otro laboratorio de prueba y calibración competente que confirme que:

- a) Debe tener un rango de medición de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o superior;
- b) Debe tener una resolución igual o mayor a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- c) No debe ser sensible a la materia particulada volátil;

Nota 1.- La materia particulada volátil es el material de combustión del escape que se volatiliza a temperaturas iguales o menores a 350°C .

Nota 2.- Se cumple esta especificación cuando el nvPMmi cumple la especificación de Actuación de aplicabilidad de la Tabla A7-5.

- d) Cumple las especificaciones de actuación enumeradas en la Tabla A7-3.

Nota 1.- Si bien todas las referencias en la tabla A7-5 se refieren a la norma ISO 9169 las que figuran con un asterisco aluden a especificaciones de actuación para las cuales se aplican modificaciones, como se describe en 8.4 del presente apéndice.

Nota 2.- Las especificaciones de actuación reflejan los límites de las cantidades que se pueden verificar mediante la transmitancia termoóptica (TOT) como método de referencia de medición. El método TOT se describe en 8.2 de este apéndice.

Nota 3.- Solo se necesita y aplica la especificación de actuación de la tabla A7-5 en el procedimiento anual de calibración descrito en 8.5 del presente apéndice.

<i>Especificación de actuación</i>	<i>Valor (igual a/o menor que)</i>	<i>Método de determinación</i>
Repetibilidad	10 µg/m ³	ISO 6.4.5.3, como se indica en 8.4
Desviación cero	10 µg/m ³	ISO 6.6 (solo para CO), como se indica en 8.4
Linealidad	15 µg/m ³	ISO 6.4.5.4, como se indica en 8.4
Límite de detección (LOD)	1 µg/m ³	ISO 6.4.5.5, como se indica en 8.4
Tiempo de subida	2 segundos	ISO 6.3, como se indica en 8.4
Intervalo de muestreo	1 segundo	ISO 2.1.7, como se indica en 8.4
Precisión	± 10%	Pendiente: de la regresión lineal entre la concentración en masa del nvPMmi y la concentración de masa de EC determinada a partir del TOT tras la calibración, como se indica en 8.3.2.8
Verificación	± 16%	Verificación del instrumento y la fuente de calibración en un escape de turbina de aeronave (como se indica en 8.3

TABLA A7-3 Especificaciones de actuación para instrumentos de medición de masa de (nvPMmi)

8.2 MÉTODO DE TRANSMITANCIA TERMOÓPTICA (TOT).-

La transmitancia términoóptica (TOT) debe ser el método de referencia de medición para demostrar conformidad con las especificaciones de actuación de cada marca y modelo de nvPMmi y para calibrar el nvPMmi. Este método permite determinar el nivel de EC y OC en las muestras de nvPM.

8.2.1 Generalidades

8.2.1.1 El analizador TOT debe ser un instrumento de laboratorio (con un detector de ionización de la llama, FID) o un instrumento semicontinuo (con un sensor de infrarrojo no dispersivo, NDIR).

8.2.1.2 El método TOT debe emplear el perfil de temperatura especificado en la Tabla A7-4.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre el método TOT.

8.2.2 Reactivos y materiales

8.2.2.1 Se debe emplear los siguientes reactivos:

- a) Soluciones acuosas de sacarosa de grado de reactivo (99% o superior), diluida con H₂O ultrapuro de Tipo I, o equivalente, para producir 0,1 a 3 mg de C por mililitro de solución;
- b) He – 5,0 de pureza (superior al 99,999%);
- c) H₂ – 4,5 de pureza (superior al 99,995%);
- d) Aire cero (con menos de 0,2 ppm de hidrocarburos);
- e) Una mezcla certificada de 10% de O₂ en He; y
- f) Una mezcla certificada de 5% de CH₄ en He.

8.2.2.1 Se debe emplear el siguiente material:

- a) Para el instrumento de laboratorio, una perforadora de metal incorporada en el instrumento para retirar una sección rectangular de 1,0 cm² o 1,5 cm² del filtro;
- b) Para el instrumento semicontinuo, una perforadora de metal incorporada en el instrumento para retirar dos filtros circulares de 2,0 cm²;
- c) Filtros de fibra de cuarzo Pall Tissuquarz™ o equivalentes; y
- d) Jeringa de 10 microlitros.

8.2.2.3 Preparación de los filtros

Según el instrumento que se utilice, los filtros se preparan como se indica a continuación:

- a) Para muestreo y análisis manual, todos los filtros de fibra de cuarzo deben estar precalentados en un horno de mufla a una temperatura mayor o igual a 550°C durante 12 horas, o mayor o igual a 800°C durante 1 a 2 horas antes del muestreo, y se guardarán en un recipiente sellado; o
- b) Para el analizador semicontinuo, se debe acondicionar los filtros de medición efectuando al menos un ciclo completo de medición, como se describe en la Tabla A7-6.

Gas portador	Temperatura (°C)	Tiempo a la temperatura (segundos)
100% He	310	80
	475	80
	615	80
	870	110
	550	45
10% O ₂ en He	550	45
	625	45
	700	45
	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
5% CH ₄ en He	0	120

TABLA A7-6 Perfil de temperatura requerida para el ciclo de análisis con el método TOT.

8.2.3 Preparación de la muestra

8.2.3.1 Se colocará el filtro de muestreo sobre una superficie limpia de papel de aluminio.

Nota.- Se puede usar alcohol isopropílico o acetona para limpiar la superficie del papel. En este caso, dejar que se evapore el solvente residual antes del uso. Como alternativa, se puede limpiar el papel cocidiéndolo en un horno de mufla antes del uso.

8.2.3.2 Se debe perforar y retirar una parte representativa del filtro. Se deben emplear las buenas prácticas de laboratorio para manipular los filtros.

8.2.4 CALIBRACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

8.2.4.1 Se debe calibrar el sensor de temperatura que controla la temperatura del horno mediante una norma de transferencia trazable dentro del período de un año antes de la realización de cualquier análisis TOT.

8.2.4.2 Si se emplea el instrumento de laboratorio, se debe calibrar la respuesta del FID. La calibración debe seguir el procedimiento que se indica a continuación:

- a) Preparar la norma de calibración externa, que consiste en una solución de sacarosa en agua sin materia orgánica.
- b) Esparcir 10 microlitros de la solución sobre muestras perforadas de un filtro de cuarzo nuevo, limpio y precocido.
- c) Analizar un mínimo de tres muestras en blanco del método y tres muestras de solución de sacarosa para asegurarse de que la calibración del instrumento muestre una recuperación porcentual de la masa teórica de C de 95 a 100% (μgC medidos/ μgC esparcidos).

8.2.4.3

Si se emplea el instrumento semicontinuo, se debe calibrar la respuesta del NDIR. La calibración debe seguir el procedimiento que se indica a continuación:

- a) Preparar la norma de calibración externa, que consiste en una solución de sacarosa en agua sin materia orgánica.
- b) Esparcir 10 microlitros de la solución sobre muestras perforadas de un filtro preacondicionado de tipo recipiente insertado en el fondo del semitubo de cuarzo;
- c) Analizar un mínimo de tres muestras en blanco del método y tres muestras de solución de sacarosa para asegurarse de que la calibración del instrumento muestre una recuperación porcentual de la masa teórica de C de 95 a 100% (μgC medidos/ μgC esparcidos).

8.2.4.4

Si el análisis del filtro requiere más de un día, se debe esparcir cada día una verificación única de calidad, normalmente de la solución de sacarosa de las existencias, sobre el filtro y analizar según corresponda. Los resultados deben estar entre 95 y 100% de la masa teórica de C.

Nota.- La muestra en blanco del método es un filtro de cuarzo precalentado sin adición de sacarosa pero que se ha manipulado del mismo modo.

8.2.5

MEDICIÓN.-

Se obtendrá la medición con el siguiente procedimiento:

- a) Se debe operar el analizador TOT conforme a las recomendaciones del fabricante;
- b) Coloque la porción de la muestra en el horno para muestras;
- c) Determine la masa de EC y OC en μg ;

Nota.- Los resultados del analizador TOT se informan en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de C.

- d) Se deben corregir siempre los resultados finales de la muestra con muestras en blanco:

- 1) Para el instrumento de laboratorio, el blanco del campo consiste en filtros de fibra de cuarzo precalentados que reciben el mismo tratamiento que las muestras, salvo que no se hace pasar aire por el filtro. Una carga de masa de EC por unidad de área mayor o igual a $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ en las muestras en blanco indica contaminación;
 - 2) Para el analizador semicontinuo, se debe efectuar una medición del conjunto de filtros internos sin hacer pasar ningún gas de muestra a través de los filtros;
- e) Se deben corregir siempre los resultados finales de la muestra con respecto a los artefactos de OC en fase gaseosa. Para esa corrección, las condiciones de utilización (duración y gasto del flujo) deben ser idénticas a las de la recolección de la muestra. Según el instrumento que se utilice, el procedimiento debe ser como se indica a continuación:
- 1) Para los análisis de laboratorio, se debe utilizar una configuración de muestreo que consiste bien en un filtro de teflón y luego un filtro de cuarzo precalentado de respaldo o bien en un filtro de cuarzo precalentado y luego un filtro de cuarzo precalentado de respaldo y el filtro de respaldo debe ser analizado como se establece en la Tabla A7-6. Todo OC que se halle en los filtros de respaldo ser debe estar del OC de los filtros de muestreo.
 - 2) Para los análisis semicontinuos, se insertará en la configuración de muestreo un filtro de teflón antes del analizador. Todo OC que se halle durante esta medición debe estar del OC detectado en los filtros de muestreo durante la medición de las muestras.

8.2.6

CÁLCULOS. -

Para el instrumento de laboratorio:

- a) Se debe multiplicar el resultado de la carga de masa de EC ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) por el área de depósito del filtro (cm^2) para calcular la masa total de EC (μg) de cada muestra de filtro (W_{EC});
- b) Realizar el mismo cálculo que en a) para las muestras en blanco y calcular la masa hallada en la muestra en blanco promedio (W_{b}); y
- c) Calcular la concentración de masa de EC (C_{EC}) en el volumen de aire tomado como muestra en condiciones STP, V (en m^3):

$$C_{\text{EC}} = \frac{W_{\text{EC}} - W_{\text{b}}}{V} (\mu\text{g}/\text{cm}^3)$$

Nota 1.- El instrumento semicontinuo indica la concentración de masa de EC como resultado notificado.

Nota 2.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre el principio del método TOT.

8.3 PROCEDIMIENTO PARA DEMOSTRAR CONFORMIDAD CON LAS ESPECIFICACIONES DE ACTUACIÓN. -

Nota.- El procedimiento descrito en esta sección se utiliza para demostrar conformidad con las especificaciones de actuación de cada marca y modelo de nvPMmi.

Se debe demostrar las especificaciones de actuación enumeradas en la Tabla A7-5 mediante el método TOT descrito en la sección 2 de este adjunto. Se llevarán a cabo las mediciones utilizando las dos fuentes siguientes: una fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión y una fuente de nvPM del escape del motor de una turbina de gas.

8.3.1 Fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión

Nota.- En el manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II-Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones figuran orientaciones sobre una fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión.

8.3.1.1 Fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión

Para demostrar la conformidad del nvPMmi y la calibración anual, la fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión se definirá por el modelo de dispositivo utilizado para producir la llama de difusión, el combustible usado y la configuración de funcionamiento.

8.3.1.2 Recomendación

- a) Se debe proceder con cuidado en la selección y utilización de diferentes fuentes de aerosol de la combustión de la llama de difusión, debido a la posibilidad de que el factor de calibración del nvPMmi (la relación entre la respuesta del instrumento y la referencia TOT) varíe entre los distintos dispositivos de fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión.
- b) Se deber utilizar una única fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión para demostrar la conformidad del nvPMmi con las especificaciones de actuación de repetibilidad, desviación cero, linealidad, tiempo de subida y precisión que figuran en la tabla A7-5.

8.3.1.3 Fuentes de aerosol de la combustión de la llama de difusión usadas para la calibración del nvPMmi

Cada fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión usada para la calibración de un nvPMmi debe demostrar la conformidad con la especificación de actuación de verificación que figura en la tabla A7-5 aplicando 8.3.2 y 8.3.3.

8.3.2 Medición mediante una fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión

8.3.2.1 El sistema de medición debe contener:

- a) Una fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión;
- b) Un sistema de dilución que utilice diluyente filtrado con HEPA para controlar las concentraciones objetivo en masa EC;
- c) Un separador ciclónico con un punto de corte de 1 μm aguas arriba de los instrumentos TOT y nvPMmi;

Un conjunto separador que cumpla los requisitos del párrafo 4.2 d) y f) del apéndice;

Nota.- En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves se indica un procedimiento equivalente.

- d) Tubería de acero inoxidable o antiestática para conectar el muestreador manual de filtros de cuarzo, o un analizador EC/OC semicontinuo, y el nvPMmi. Toda la tubería debe ser del mismo material, longitud y temperatura desde el punto de separación hasta la entrada de los instrumentos; y
- e) Si se emplean tuberías antiestáticas, estas deben cumplir la especificación relativa a la protección antiestática de la norma ISO 8031.

8.3.2.2 Según el instrumento que se emplee para la medición TOT, se debe cumplir el siguiente requisito:

- a) Si se utilizan muestreo manual y analizador de laboratorio, se debe emplear un filtro de cuarzo precalentado dentro de un porta-filtro de acero inoxidable con una sección de entrada cónica de un semiángulo $\leq 12,5^\circ$ a una velocidad de filtración menor o igual a 0,5 m/s en condiciones de utilización reales. El diámetro del depósito del filtro debe ser lo suficientemente grande para permitir la recolección de al menos una perforación por cada filtro. Se analizará al menos una perforación de cada muestra de filtro de cuarzo recolectada;
- b) Si se emplea un analizador TOT semicontinuo, este debe funcionar a una velocidad de filtración menor o igual a 0,5 m/s

8.3.2.3 Se deben realizar las mediciones en los niveles de concentración objetivo de masa de EC especificados en la Tabla A7-7. Las concentraciones en masa de EC logradas deben estar dentro del 20% de las concentraciones en masa objetivo especificadas.

8.3.2.4 A cada nivel de concentración se tomarán muestras durante un tiempo similar para establecer una carga de filtro de EC que pueda repetirse. La carga del filtro de EC debe ser de $12 \pm 5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

8.3.2.5 El tiempo promedio definido en la norma ISO 9169 debe ser el mismo que el tiempo de recolección de la muestra.

- 8.3.2.6** El contenido promedio de EC determinado por el método TOT debe ser mayor o igual al 80% del C total.
- 8.3.1.7** Se usarán las concentraciones en masa de EC obtenidas mediante el método TOT y las concentraciones en masa de nvPMmi para medir los parámetros especificados en la sección 4 de este adjunto que demuestran conformidad con las especificaciones de actuación de la Tabla A7-5.
- 8.3.1.8** El nvPMmi se calibra utilizando el número de pruebas que figura en la tabla A7-7 y el procedimiento que se detalla en 8.5.5 del presente apéndice. La pendiente resultante de la regresión lineal entre la concentración en masa del nvPMmi y la concentración de masa de EC determinada a partir del TOT se utilizará para determinar la especificación de actuación de precisión que figura en la tabla A7-5.

<i>Concentración objetivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>Certificado de aprobación Núm. de pruebas</i>	<i>Calibración anual Núm. de pruebas</i>
0 (prueba con muestras en blanco)	6	3
50	6	0
100	6	3
250	0	3
500	6	3

Tabla A7-7. Parámetros de carga de masa de EC para la conformidad del nvPMmi y la verificación de la fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión

- 8.3.3 MEDICIÓN MEDIANTE UNA FUENTE DE NVPM DEL ESCAPE DEL MOTOR DE UNA AERONAVE.-**
- 8.3.3.1** Esta medición se utiliza para demostrar la especificación de actuación de verificación del nvPMmi que figura en la tabla A7-5, a fin de verificar la combinación del instrumento y la fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión para la calibración del nvPMmi. Se debe repetir los pasos de 3.2.4 a 3.2.5 para una fuente de nvPM del escape del motor de una turbina de gas mediante el sistema de medición especificado en 3.2.1 c), d), e) y 3.2.2 con un sistema de dilución que utilice diluyente filtrado con HEPA.
- 8.3.3.2** La dilución debe ser suficiente para prevenir la condensación de agua en el conducto de muestreo.
- 8.3.3.3** Se debe obtener como mínimo cuatro puntos de datos para un mínimo de tres reglajes de empuje y se duplicará la medición en uno de los reglajes mediante el sistema de muestreo de nvPM ya especificado. Se realizarán las mediciones como mínimo a tres concentraciones objetivo, cada una con una variación de un factor de 1,5, como mínimo, respecto de la siguiente; al menos una concentración debe ser superior a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y al menos una, inferior a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La carga del filtro de EC para estos cuatro puntos de datos debe ser de entre $2,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ y $17 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

8.3.3.4 Se debe emplear las concentraciones en masa de EC obtenidas mediante el método TOT y las concentraciones en masa de nvPMmi para determinar la aplicabilidad especificada en la Tabla A7-3 para demostrar conformidad con las especificaciones de actuación especificada en la tabla A7-5.

8.3.2.5 El combustible de la prueba de motores debe ser uno de los combustibles para motores de turbina de aviación enumerados en el *Manual sobre suministro de combustible para reactores de la aviación civil* (Doc 9977), Capítulo 3, 3.2. Se debe emplear el mismo combustible para los cuatro puntos mínimos de datos.

8.4 CÁLCULO DE ACTUACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS. -

8.4.1 Se debe determinar la desviación cero, el tiempo de subida y la frecuencia de muestreo de los parámetros de actuación del nvPMmi conforme a las especificaciones de la norma ISO 9169, párrafos 6.6, 6.3 y 2.1.7, respectivamente.

8.4.2 Se determinará el parámetro de repetibilidad del nvPMmi a un intervalo de confianza del 95% mediante seis mediciones consecutivas a cada nivel de concentración según:

$$S_{r_i}^2 = S_{y_i}^2 - \Delta^2 \cdot S_{c_i}^2$$

donde:

$$S_{y_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{i,j} - \bar{y}_i)^2}{(n - 1)}$$

s_{c_i} la desviación estándar respecto de j de $C_{i,j}$ para el nivel i

$Y_{i,j}$ el resultado de la medición por el instrumento del material de referencia $C_{i,j}$

$C_{i,j}$ la jª instancia de concentración de material de referencia en el nivel i

\bar{y}_i el promedio sobre j de $Y_{i,j}$

n la cantidad de mediciones consecutivas a cada nivel de concentración (seis como mínimo)

Δ la pendiente de la función de regresión aplicada en la prueba de falta de ajuste determinada a partir de las siguientes ecuaciones:

$$E_{i,j} = Y_{i,j} - (\Gamma + \Delta \times C_{i,j})$$

donde

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}$$

$E_{i,j}$ es la diferencia entre $C_{i,j}$, y $Y_{i,j}$;

E_i es el promedio sobre j de $E_{i,j}$; y

Γ es la intersección de la función de regresión aplicada en la prueba de falta de ajuste.

- 8.4.3** Si la repetibilidad así determinada resulta negativa, la repetibilidad debe ser notificada como “considerablemente mejor que $\Delta \cdot S_{c_i}^2$ ”.

Nota.- Si la repetibilidad así determinada resulta negativa, lo que indica que no se pudo discriminar la variancia de la medición de la variabilidad del material de referencia, se deben repetir las pruebas centrando más la atención en la estabilidad de la fuente de material de referencia (flujo de la fuente de nvPM de la llama de difusión y configuración de presión) y la precisión de la determinación del nivel de material de referencia (cargas y procedimientos del método TOT).

- 8.4.4** Se debe determinar la linealidad del nvPMmi conforme a las especificaciones de la norma ISO 9169, párrafo 6.4.5.4, si bien el residuo debe determinarse del siguiente modo:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}$$

- 8.4.5** Se debe determinar el LOD del nvPMmi conforme a las especificaciones de la norma ISO 9169, párrafos 6.4.5.5. Si el instrumento no hace mediciones cuando no hay partículas en la muestra, entonces se debe usar una concentración en masa de nvPM más elevada, C_{LOD} , que se encuentre apenas por encima de cero de modo que el instrumento haga mediciones regulares. En este caso el LOD se determinará como:

$$Y_{LOD,0,95} = \bar{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v,0,95} \times S_{LOD}$$

donde,

$Y_{LOD,0,95}$ es el límite de detección a un intervalo de confianza del 95%;

\bar{Y}_{LOD} es el promedio de los valores $Y_{LOD,j}$;

C_{LOD} es el promedio de los valores $C_{LOD,j}$;

$t_{v,0,95}$ es el factor de Student, para ambos lados, a un intervalo de confianza de 95%, grado $v = n-1$;

S_{LOD} es la desviación estándar asociada con Y_{LOD} promedio.

Nota.- Es posible que el material de referencia no sea el mismo en mediciones consecutivas tomadas a lo largo del tiempo promedio. Así, cada determinación del valor del material de referencia puede ser diferente, aunque bien conocida por la determinación mediante el método TOT. Las definiciones de la norma ISO 9169 están ajustadas para contemplar esa variabilidad.

8.5 CALIBRACIÓN.-

- 8.5.1** Se debe calibrar anualmente el nvPMmi mediante una fuente de aerosol de la combustión de la llama de difusión verificada de conformidad con lo detallado en 3.1.3, el método TOT detallado y una configuración del sistema que se especifica en 3.2.1 y 3.2.2 de este adjunto.

8.5.2 Se deben realizar las mediciones en los niveles objetivo de concentración en masa de EC especificados en la Tabla A7-8. Las concentraciones en masa de EC logradas deben estar dentro del $\pm 20\%$ de las concentraciones objetivo en masa especificadas.

Concentración objetivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Calibración anual (Núm. de pruebas)
0 (prueba en blanco)	3
50	0
100	3
250	3
500	3

Tabla A7-8. Parámetros de carga de masa de EC para las muestras de calibración

8.5.2.1 Se debe probar tres puntos a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la calibración anual.

8.5.3 A cada nivel de concentración se debe tomar muestras durante un tiempo similar para establecer una carga de filtro de EC que pueda repetirse. La carga del filtro de EC debe ser de $12 \pm 5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

8.5.4 El tiempo promedio definido en la norma ISO 9169 debe ser el mismo que el tiempo de recolección del filtro.

8.5.5 Se debe usar las concentraciones en masa de EC obtenidas mediante el método TOT y las concentraciones en masa de nvPMmi para determinar el mejor ajuste con los puntos de datos recolectados en la calibración de los instrumentos. Es necesario emplear un método de cuadrados mínimos lineales para determinar el factor de extrapolación b para ajustar las concentraciones en masa de nvPM informadas por el nvPMmi según:

$$b = \frac{\sum \frac{y_i}{x_i}}{n}$$

donde

x_i es la $i^{\text{ésima}}$ medición del nvPMmi;

y_i es la $i^{\text{ésima}}$ concentración en masa de EC obtenida mediante el método TOT y

b es la pendiente de la recta del mejor ajuste.

Nota 1.- Una vez aplicado el factor de extrapolación b al nvPMmi, la pendiente de las mediciones del instrumento ajustadas con respecto a los resultados del TOT para EC debe ser matemáticamente igual a 1,0 y se cumplirá, por definición, el requisito de pendiente de la Tabla A7-5.

Nota 2.- Debido a las incertidumbres previstas respecto de la repetibilidad de los ensayos EC con el método TOT, es posible que una repetición del proceso en el mismo o en otro laboratorio arroje una pendiente distinta sin que varíe la respuesta del instrumento. Las especificaciones de actuación de precisión de la Tabla A7-5 pretenden explicar esa variabilidad.

8.5.6 Antes de cada calibración anual, se debe evaluar la actuación de cada instrumento de medición de masa en el estado comprobado al principio a una concentración en masa de EC de 100 µg/m³ indicada en la Tabla A7-8. Esta evaluación permite la trazabilidad a calibraciones anteriores del instrumento y comparar constantes de calibraciones nuevas y existentes.

9. ESPECIFICACIONES Y CALIBRACIÓN DEL ELIMINADOR DE PARTÍCULAS VOLÁTILES Y EL INSTRUMENTO DE ÍNDICE DE nvPM

9.1 ESPECIFICACIONES. -

9.1.1 Especificaciones del VPR

9.1.1.1 Cada marca y modelo del eliminador de partículas volátiles (VPR) debe recibir un certificado del fabricante del instrumento o de otro laboratorio de prueba y calibración competente que confirme que cumple las especificaciones de actuación enumeradas a continuación.

9.1.1.2 El factor de dilución (DF₂) del VPR debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Se ajusta el DF₂ para mantener la concentración en número de partículas dentro del modo de conteo único del CPC y reducir la temperatura de la muestra a entre 10 °C y 35 °C en la entrada del CPC.
- b) La variabilidad del DF₂ debe ser inferior al 10 %.

9.1.1.3 La sección calentada que evapora los elementos volátiles se debe mantener a una temperatura de 350 °C ±15 °C.

9.1.1.4 Si el VPR contiene múltiples secciones calentadas, los controles adicionales de temperatura deben ser ±15 °C de las temperaturas de utilización especificadas por el fabricante del VPR.

9.1.1.5 El control de presión de la muestra debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Un dispositivo de control de presión debe permitir el envío de una muestra diluida al CPC a una presión de ±15 kPa de la presión ambiente (escape del CPC);
- b) La presión no debe exceder 105 kPa.

9.1.1.6 Los coeficientes mínimos de penetración de partículas permitidos para el VPR para cada ajuste de dilución cumplirán las especificaciones de la tabla A7-9.

Diámetro de movilidad eléctrica de una partícula, D _m	15nm	30nm	50nm	100nm
Coefficiente mínimo de penetración, η _{VPR} (D _m)	0,30	0,55	0,65	0,70

Tabla A7-9. Coeficientes mínimos permitidos de penetración del VPR a cuatro diámetros de partículas

9.1.1.7 El rendimiento de depuración de materia volátil (VRE) del VPR debe eliminar más del 99,5% de las partículas de tetracontano ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$, de pureza superior al 95%) con una concentración en la entrada de 10.000 partículas/cm³, como mínimo, a un diámetro de movilidad eléctrica de 30 nm. Este VRE se debe demostrar cuando se utilice el VPR en el ajuste mínimo de dilución y a la temperatura de funcionamiento recomendada por el fabricante.

9.1.1.8 Si se usa un convertidor catalítico en el VPR, el diluyente debe contener al menos 10 % de O₂.

9.1.2 Interfaz del VPR al CPC

El tubo que conecta la salida del VPR con la entrada del CPC debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El material debe ser conductor de electricidad;
- b) El tubo debe tener un diámetro interno igual o mayor a 4 mm;
- c) La muestra debe tener un tiempo de permanencia dentro del tubo igual o menor a 0,8 segundos.

9.1.3 Especificaciones del CPC

9.1.3.1 Cada marca y modelo de CPC debe recibir un certificado del fabricante del instrumento o de otro laboratorio de prueba y calibración competente el cual confirme que cumple las especificaciones de actuación enumeradas a continuación.

9.1.3.2 Se permite una función de corrección de coincidencias de hasta un 10% de corrección, como máximo. La función de corrección de coincidencias no debe emplear ningún algoritmo para corregir o definir el rendimiento de conteo.

9.1.3.3 El conteo de partículas debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) La modalidad de conteo debe ser de conteo único. No se permite el uso del CPC en la modalidad fotométrica. Así, para garantizar que se use la modalidad de conteo único, se incrementará DF₂ en la medida en que sea necesario;
- b) La precisión de conteo debe ser de ±10 % a partir del umbral de 2.000 partículas/cm³ hasta el umbral superior de la modalidad de conteo único de partículas con respecto a una norma trazable (ISO 27891);
- c) El rendimiento de conteo debe ser mayor o igual a 50 % a 10 nm de diámetro de movilidad eléctrica y mayor o igual a 90 % a 15 nm de diámetro de movilidad eléctrica;
- d) Se establece el rendimiento de conteo mediante un aerosol de aceite de esmeril.

9.1.3.4 La frecuencia de adquisición de datos debe ser mayor o igual a 1,0 Hz en un intervalo mínimo de 30 segundos una vez estabilizado el motor.

9.1.3.5 Se debe informar la concentración en número de partículas en partículas/cm³ en condiciones STP. Si el valor informado no corresponde a condiciones STP, se medirá la presión absoluta de la entrada del CPC con una precisión superior al 2 %

de modo que se pueda corregir la concentración en número a condiciones STP, conforme a las indicaciones del fabricante.

9.1.3.6 La resolución debe ser superior a 0,1 partículas/cm³ a concentraciones menores a 100 partículas/cm³.

9.1.3.7 El tiempo de subida debe ser menor a 4 segundos.

9.1.3.8 Se debe mantener el flujo de la muestra al máximo. No se permite la división interna del flujo.

9.1.3.9 El fluido de trabajo debe ser el n-butanol.

9.1.3.10 La respuesta debe ser lineal.

9.1.4 Requisito del sistema

El tiempo de recorrido desde la entrada del VPR hasta el CPC debe ser menor o igual a 10 segundos.

9.2. CALIBRACIÓN

9.2.1 VPR

Antes de cada calibración del VPR, se debe validar el instrumento en el estado en que se lo encontró a una sola configuración de DF₂ que sea característica de las mediciones que se realizan en motores de turbinas de aeronaves. Esa validación debe incluir el factor de dilución del VPR en la configuración de DF₂ seleccionada, la determinación de los coeficientes de penetración y la VRE.

9.2.1.1 La calibración del DF₂ debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Se debe calibrar el DF₂ a cada configuración de calibración del VPR, según lo establezca el fabricante del VPR.
- b) Debe efectuar la calibración del DF₂ un laboratorio competente, bien mediante trazas de gases como el CO₂ o bien con mediciones de flujo.

9.2.1.2 Los coeficientes de penetración de partículas del VPR deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Se deben medir los coeficientes de penetración de partículas del VPR a 350 °C con partículas sólidas de diámetros de movilidad eléctrica de 15 nm, 30 nm, 50 nm y 100 nm para cada configuración de dilución del VPR. Se debe enviar al VPR al menos 5.000 partículas/cm³ entre los cuatro tamaños de partículas. Si se usa hollín para la generación de partículas, es posible que se necesite un dispositivo de pretratamiento técnico calentado a 350 °C para enviar solo nvPM al VPR.
- b) Las concentraciones de partículas se deben medir aguas arriba y abajo del VPR con un CPC que tenga un rendimiento de conteo mayor o igual a 90 % a 15 nm.
- c) Los coeficientes de penetración del VPR se determinarán del siguiente modo:

$$\eta_{VPR}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)}$$

Donde,

$N_{in}(D_m)$ es la concentración en número de partículas aguas arriba para partículas de D_m ; y

$N_{out}(D_m)$ es la concentración en número de partículas aguas abajo para partículas de D_m .

d) $N_{in}(D_m)$ y $N_{out}(D_m)$ debe n estar referenciadas a las mismas condiciones de T y P.

e) Se debe calibrar el VPR como una unidad completa.

9.2.1.3 VRE del VPR

a) Se debe determinar el VRE con un CPC que tenga un rendimiento de conteo mayor o igual a 90 % a 30 nm, según se indica:

$$VRE = 100 \times \left[1 - \frac{DF_2 \times N_{out}(D_{30})}{N_{in}(D_{30})} \right]$$

donde

$VRE(D_{30})$ es el VRE para partículas de D_{30} ;

$N_{in}(D_{30})$ es la concentración en número de partículas aguas arriba para partículas de D_{30} ;

$N_{out}(D_{30})$ es la concentración en número de partículas aguas abajo para partículas de D_{30} ; y'

D_{30} son partículas con un diámetro de movilidad de 30 nm.

b) $N_{in}(D_{30})$ y $N_{out}(D_{30})$ debe estarn referenciadas a las mismas condiciones de T y P.

9.2.2 Calibración del CPC

9.2.2.1 La calibración del CPC debe ser trazable a un método normalizado de calibración (ISO 27891): comparación de la respuesta del CPC al que se efectúa la calibración con la de un electrómetro de aerosol calibrado en el muestreo simultáneo de partículas de calibración clasificadas electrostáticamente.

9.2.2.2 Antes de cada calibración, se debe validar el CPC (“en el estado en que se lo encontró”).

9.2.2.3 Se debe llevar a cabo la calibración y validación mediante los siguientes procedimientos:

a) Se calibrará la eficiencia de detección del CPC con partículas de 10 a 15 nm de diámetro de movilidad eléctrica. El rendimiento de conteo del CPC debe ser mayor o igual a 50 % a 10 nm y mayor o igual a 90 % a 15 nm.

b) El aerosol de calibración debe ser aceite de esmeril.

10. PROCEDIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA

10.1 VERIFICACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA PARTE DE RECOLECCIÓN Y EL CONDUCTO DE GAS. -

10.1.1 Procedimiento de verificación de pérdidas

Antes de una serie de pruebas de un motor, se deben verificar la parte de recolección y el GL para detectar pérdidas mediante el procedimiento siguiente:

- a) Aislar el GL de la parte de medición de nvPM mediante la válvula de aislamiento 1, la válvula de control de presión P1 y, si procede, la válvula de cierre opcional.
- b) Aislar la sonda y los analizadores.
- c) Conectar y accionar una bomba de vacío para verificar el gasto de las pérdidas.
- d) La bomba de vacío, a gasto nulo, debe poder producir un vacío de -75 kPa respecto de la presión atmosférica; el gasto máximo no debe ser inferior a 26 L/min a la temperatura y presión normalizadas.

10.1.2 Requisito de verificación de pérdidas

Las pérdidas del gasto deben ser inferiores a 0,4 slpm.

10.2 VERIFICACIÓN DE LA LIMPIEZA EN LA PARTE DE RECOLECCIÓN Y EL CONDUCTO DE GAS.-

Esta verificación únicamente se efectúa si se usa el método completo de cálculo de El gaseosas de nvPM.

10.2.1 Procedimiento de verificación de la limpieza

Se debe verificar la limpieza de la parte de recolección y el GL mediante el procedimiento siguiente:

- a) Aislar el GL de la parte de medición de nvPM mediante la válvula de aislamiento 1 y la válvula de control de presión P1;
- b) Aislar el GL de la sonda y conectar ese extremo del conducto de muestreo a una fuente de gas cero;
- c) Calentar el sistema hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento que se necesita para hacer las mediciones de HC;
- d) Activar la bomba de flujo de la muestra y ajustar el flujo al que se utilizó durante el ensayo de las emisiones del motor;
- e) Registrar la lectura del analizador de HC.

10.2.2 Requisito de verificación de la limpieza

10.2.2.1 La medición de HC no debe exceder el 1 % del nivel de emisiones del motor en la modalidad de marcha lenta o 1 ppm (ambos expresados como carbono), el valor que sea más elevado.

Nota.- Si a la entrada del motor hay niveles significativos de tipos de emisiones presentes en el aire de concentración de fondo, debido a otras fuentes varias, puede que esto tenga consecuencias en los niveles de los tipos de emisiones de escape de los motores. En tal situación, puede justificarse que se vigilen esos tipos de emisiones y que se tenga en cuenta la calidad de ese aire de concentración de fondo en los niveles de emisiones notificados.

10.2.2.2 Si se justifica el uso de un procedimiento que tenga en cuenta la calidad del aire de concentración de fondo en los niveles de emisiones notificados, entonces debería usarse tal procedimiento, sujeto a la aprobación de la DINAC.

10.3 VERIFICACIÓN DE LIMPIEZA Y PÉRDIDAS DE LA PARTE DE TRANSFERENCIA

Nota 1.- Las verificaciones de limpieza pueden fallar debido a contaminación en componentes de la parte de transferencia o pérdidas en esa parte o en la de medición, o en ambas.

Nota 2.- Si el sistema tiene pérdidas, absorberá las partículas suspendidas en el aire del ambiente.

10.3.1 Procedimiento de verificación de limpieza y pérdidas

10.3.1.1 Antes de realizar una serie de pruebas en un motor, se debe verificar la parte de transferencia para detectar problemas de limpieza y pérdidas mediante el procedimiento siguiente:

- a) Hacer circular diluyente filtrado por el equipo de dilución 1 con la válvula de aislamiento 1 cerrada.
- b) El gasto del flujo en cada conducto del separador 2 debe ser igual a los empleados durante las pruebas del motor.
- c) Ajustar DF_2 en la configuración menor del VPR.

10.3.1.2 Cuando las concentraciones en masa y número de nvPM medidas sean estables, registrar los datos durante 30 segundos, como mínimo.

Nota.- En la figura A7-4 se ilustra el esquema de flujo de la verificación de limpieza de la parte de transferencia.

10.3.2 Requisito de verificación de limpieza/pérdidas

10.3.2.1 El promedio de 30 segundos de concentración en masa de nvPM ($nvPM_{mass_STP}$) debe ser inferior a $1 \mu g/m^3$

10.3.2.2 El promedio de 30 segundos de concentración en número de nvPM ($nvPM_{num_STP}$) debe ser inferior a $2,0$ partículas/cm³.

10.3.2.3 Si falla la verificación de limpieza, se debe inspeccionar primero el sistema para detectar pérdidas. Si no se observan pérdidas, se debe inspeccionar y limpiar el depósito de recolección del separador ciclónico. Si aun así falla la verificación de limpieza, es posible que sea necesario limpiar o reemplazar segmentos del sistema de muestreo.

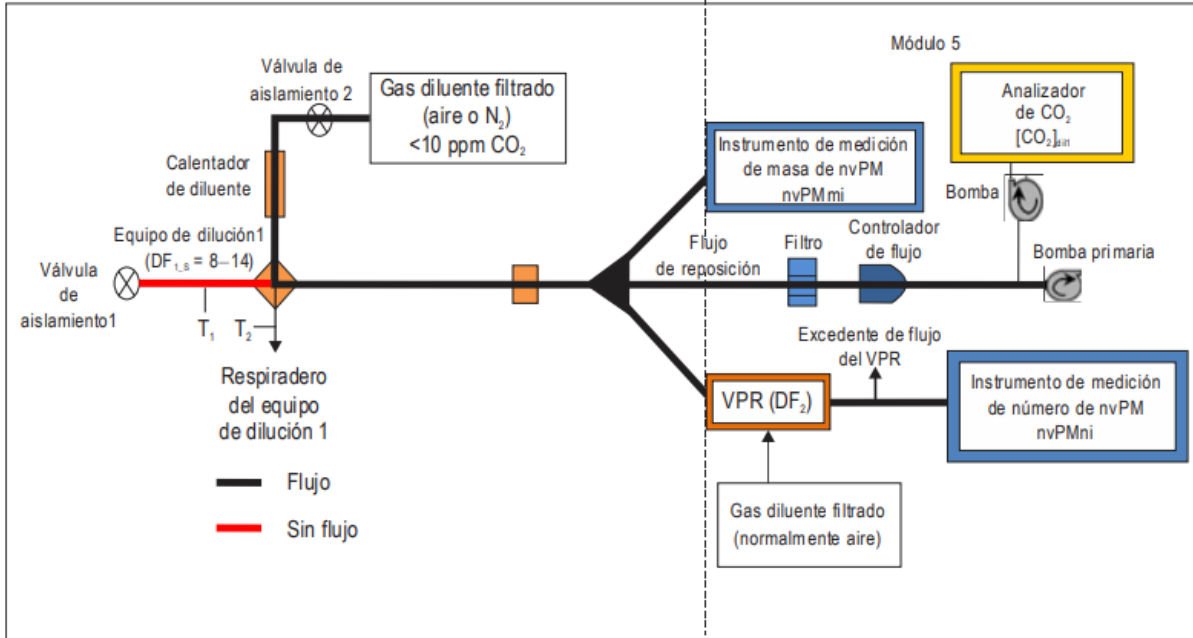


Figura A7-4. Esquema de flujo de la verificación de limpieza de la parte de transferencia

10.4

PURGADO DE LA PARTE DE RECOLECCIÓN

A fin de mantener los conductos y sondas de muestreo del módulo 1 libres de combustible sin quemar, se purgará ese módulo durante el arranque y apagado de los motores, como se ilustra en la figura A7-5.

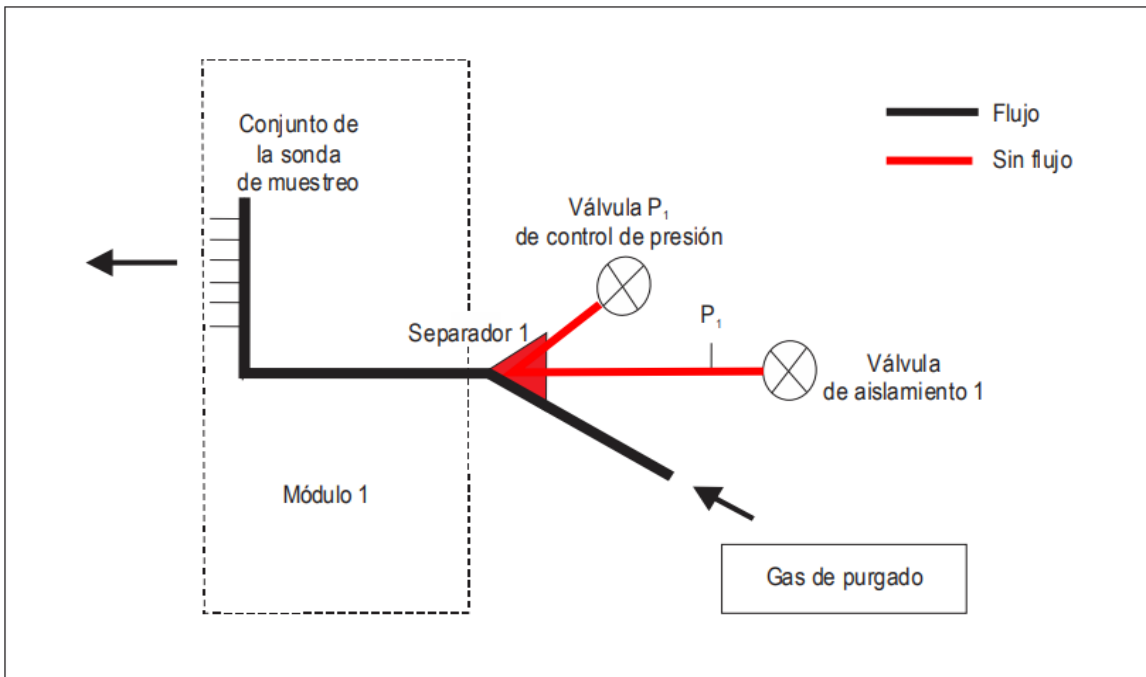


Figura A7-5. Esquema de flujo del purgado del módulo 1

10.5 MEDICIÓN DE nvPM AMBIENTE

10.5.1 Generalidades

10.5.1.1 Se obtendrán concentraciones ambiente en masa y número de nvPM representativas de la entrada de aire de los motores antes y después de las pruebas de motores y se notificarán como promedio de ambos valores.

Nota 1.- En el caso de una cámara de ensayo cerrada, pueden producirse niveles elevados de nvPM dentro de la cámara de ensayo debido a la presencia de otras fuentes de nvPM antes del arranque del motor. En esa situación, la obtención de mediciones de nvPM ambiente representativas puede requerir el lavado de la cámara de ensayo con aire ambiente.

Nota 2.- En el Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación de los motores de aeronaves respecto a las emisiones figuran orientaciones al respecto.

10.5.2 Procedimiento de muestreo ambiente de nvPM

Se deben obtener concentraciones ambiente en masa y número de nvPM representativas de la entrada de aire de los motores mediante:

10.5.2.1 Método 1: Muestreo a través del respiradero del equipo de dilución 1

Se empleará el sistema de muestreo y medición de nvPM para tomar la muestra del respiradero del equipo de dilución 1.

Al tomar la muestra del respiradero del equipo de dilución 1, se aplicará el siguiente procedimiento:

- a) Apagar el suministro de diluyente del equipo de dilución 1 cerrando la válvula de aislamiento 2 y verificando que la válvula de aislamiento 1 esté cerrada;
- b) Se debe proteger el calentador de diluyente de la exposición a un sobrecalentamiento cuando esté interrumpido el suministro de diluyente.
- c) Verificar que el gasto del flujo en cada conducto del separador 2 sea igual a los que se han de emplear durante las pruebas del motor.
- d) Cuando las concentraciones en masa y número de nvPM medidas sean estables, registrar los datos durante tres minutos, como mínimo.

Nota.- En la figura A7-6 se ilustra el esquema de flujo de medición de nvPM ambiente con el método 1.

Solo se empleará esta configuración si la ubicación del escape del respiradero es representativa del aire de la entrada del motor.

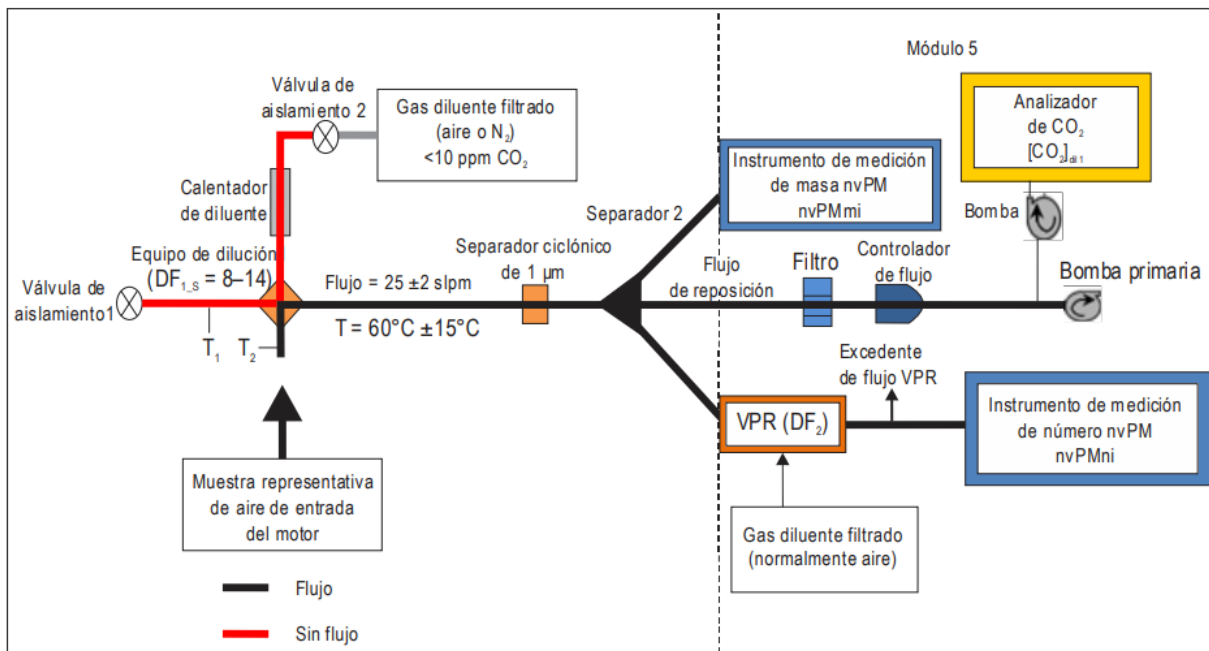


Figura A7-6. Esquema del flujo para la medición ambiente de partículas en el aire

10.5.2.2 Método 2: Sistema adicional de medición de nvPM

10.5.2.2.1 Un sistema adicional de muestreo y medición ambiente de nvPM debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El sistema de muestreo y medición ambiente de nvPM se ajustará a los requisitos del sistema de muestreo de los módulos 3 y 4 que figuran en 7.3 del presente apéndice.
- b) El nvPMmi, VPR y nvPMni cumplirán lo establecido en 8 y 9 del presente apéndice.
- c) La entrada del sistema de muestreo de nvPM ambiente debe estar ubicada a lo sumo a 50 m del plano de entrada del motor.

10.5.2.2.2 Al tomar la muestra con un sistema de muestreo y medición de nvPM adicional, se aplicará el siguiente procedimiento:

- a) Verificar que el gasto del flujo en cada conducto del separador 2 sea igual a los que se han de emplear durante las pruebas del motor.
- b) Cuando las concentraciones en masa y número de nvPM medidas sean estables, registrar los datos durante tres minutos, como mínimo.

10.5.3 Requisito de medición de las partículas ambiente

10.5.3.1 Se notificarán la concentración en masa de nvPM promediada en tres minutos (nvPM_{mass_STP}) y la concentración en número de nvPM corregida en función de DF₂ (DF₂ × nvPM_{num_STP}).

Nota.- El nivel ambiente de la concentración en masa de nvPM puede estar por debajo del LOD del nvPMmi.

10.5.3.2 El valor de concentración promedio del nvPMni corregido en función del DF_2 debe ser más de 10 veces el valor obtenido en la verificación de limpieza. Si falla esta verificación, se debe revisar el funcionamiento del sistema (posición de válvulas, gastos de flujo, presiones y temperaturas) y repetir la medición.

Nota.- Si a la entrada del motor hay niveles significativos de especies de emisiones presentes en el aire de fondo debido a otras fuentes varias, puede que esto tenga consecuencias en los niveles de las especies de emisiones de escape de los motores. En tal situación, puede justificarse que se vigilen esas especies y que se tenga en cuenta la calidad de ese aire de fondo en los niveles de emisiones notificados.

10.5.3.2.1 Si se justifica el uso de un procedimiento que tenga en cuenta la calidad del aire de fondo en los niveles de emisiones notificados, entonces debería usarse tal procedimiento, sujeto a la aprobación de la DINAC .

10.6 VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE LOS FACTORES DE DILUCIÓN DEL VPR

10.6.1 Se debe verificar los factores de dilución (DF_2) del VPR anticipados durante la prueba del motor, con la siguiente configuración:

- a) Un analizador de gas CO₂ conforme a lo dispuesto en 5.3 del apéndice 3;
- b) Un gas CO₂ certificado con alta concentración y una pureza de CO₂ de 2,0 (superior al 99,0 %) o un gas CO₂ mezclado con nitrógeno o con aire cero como diluyentes aceptables;

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación.

- c) Conectar el analizador de gas CO₂ a la salida del VPR con una conexión en T para impedir que se presurice en exceso la muestra de CO₂;
- d) Conectar el gas CO₂ de alta concentración a la entrada del VPR mediante una conexión en T y una válvula de control de flujo para suministrar presión a la entrada del VPR al igual que en la prueba de motor; y
- e) Permitir que la muestra en la entrada del VPR tenga el mismo gasto de flujo y presión que los que se emplean durante una prueba de motor.

Nota.- En la figura A7-7 se ilustra el esquema de flujo de la verificación del factor de dilución.

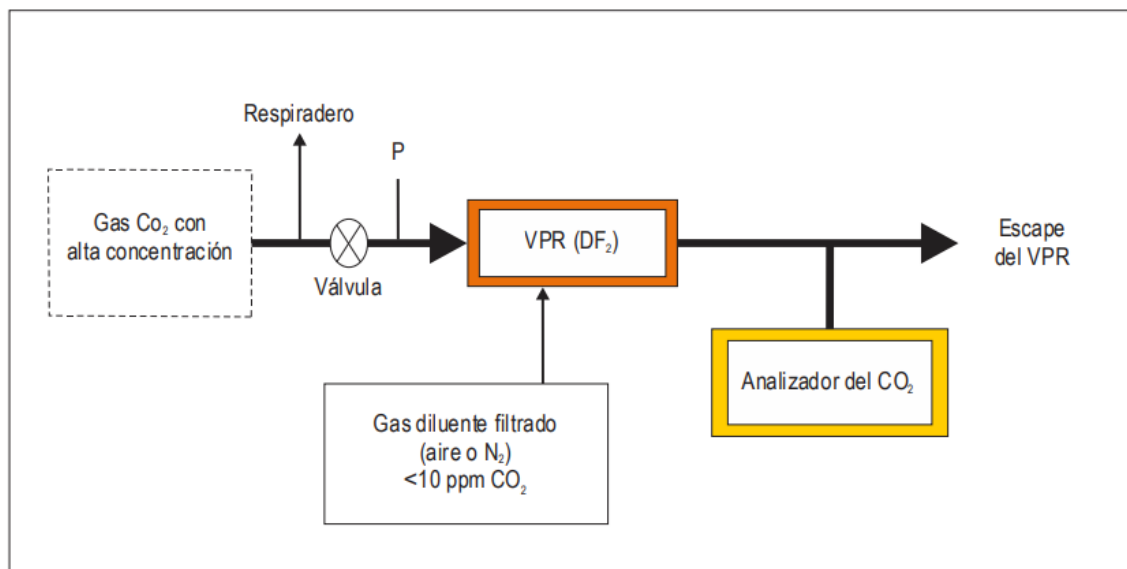


Figura A7-7. Configuración para la verificación del factor de dilución del VPR

10.6.2

Se debe verificar el factor de dilución (DF₂) del VPR mediante el siguiente procedimiento:

- a) Calentar el VPR y asegurarse de que alcance las temperaturas de funcionamiento.
- b) Verificar que la entrada del VPR impulse un flujo de muestreo.
- c) Calentar el analizador de CO₂ en consecuencia y preparar el registro de datos.
- d) Aplicar el gas de calibración Z apropiado al analizador de CO₂ y hacer los ajustes necesarios del instrumento.
- e) Aplicar el gas de calibración apropiado del 90% de la concentración correspondiente a FS al analizador de CO₂ para abarcar los rangos que haya que utilizar y ajustar y anotar debidamente la posición del regulador de ganancia.
- f) Verificar que el flujo de la muestra hacia el analizador de CO₂ sea adecuado (tal vez sea necesario colocar una bomba aguas arriba del analizador de CO₂).
- g) Hacer fluir el gas CO₂ de alta concentración hacia la entrada del VPR y asegurarse de que haya un excedente de flujo en el respirador aguas arriba de la entrada del VPR.
- h) Configurar el VPR en una configuración de factor de dilución.
- i) Ajustar la válvula de control de flujo de la entrada del VPR, de modo que se cree una caída de presión para simular la presión de la muestra subambiente en la entrada del VPR durante una medición del nvPM_n en la prueba del motor.
- j) Muestrear el flujo del escape del VPR con el analizador de gas CO₂.

- k) Cuando sea estable la lectura del analizador de gas CO₂, registrar como mínimo siete puntos de datos de concentración de CO₂ a lo largo de tres minutos y calcular la media.
- l) Calcular el valor medio de DF₂ como proporción de la media de las mediciones de CO₂ y la concentración de gas CO₂ certificada.
- m) Repetir lo establecido en 10.6.2 h) a 10.6.2 l) mencionados arriba para cada configuración de dilución del VPR que se ha de emplear en la prueba del motor.

10.6.3

Se debe comparar los valores medios calculados de DF₂ con los resultados de calibración de un laboratorio competente. Si la diferencia es:

- a) Menor o igual a ± 10 %, se emplearán los valores de DF₂ de la calibración del laboratorio competente; y
- b) Mayor a ± 10 %, se volverán a determinar los valores de DF₂ del VPR a partir de la calibración del laboratorio competente.

Nota.- El Manual técnico-ambiental (Doc 9501), Volumen II — Procedimientos para la certificación respecto a las emisiones de los motores de las aeronaves contiene textos de orientación sobre el uso de un procedimiento equivalente.

APÉNDICE 8. PROCEDIMIENTOS PARA ESTIMAR LAS CORRECCIONES POR PÉRDIDAS DE MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL EN EL SISTEMA.

Nota 1.- Los procedimientos que se especifican en el presente apéndice tratan sobre la determinación de factores de corrección por pérdidas de materia particulada no volátil (nvPM) en el sistema de muestreo y medición de dicha materia, excluidas las pérdidas por termoforesis de la Parte de recolección que figuran en la notificación de datos del Apéndice 7.

Nota 2.- La implantación del sistema de muestreo y medición de nvPM requiere un conducto de medición largo, de hasta 35 m, e incluye varios componentes del sistema de muestreo y medición, lo que puede generar una pérdida considerable de partículas, del orden del 50% de la masa de nvPM y de 90% del número de nvPM. Las pérdidas de partículas dependen del tamaño y, por ende, de la condición de funcionamiento del motor, la tecnología de la cámara de combustión y, posiblemente, otros factores. El procedimiento que se especifica en este apéndice permite estimar las pérdidas de partículas.

Nota 3.- El método del presente apéndice emplea datos y mediciones especificados en el Apéndice 7 y los adjuntos del Apéndice 7. Los símbolos y definiciones que no aparecen en este apéndice figuran en el Apéndice 7.

1. GENERALIDADES

- 1.1 Dentro del sistema de muestreo y medición de nvPM, se pierden partículas en las paredes del sistema de muestreo debido a mecanismos de deposición. Se experimentan pérdidas que dependen del tamaño y otras que no. Las pérdidas por termoforesis, independientes del tamaño, que se producen en la Parte de recolección, están especificadas en 6.2.1 del Apéndice 7.
- 1.2 Se denomina pérdida del sistema a la pérdida total de partículas del sistema de muestreo y medición de nvPM que no incluyen las pérdidas por termoforesis de la Parte de recolección.
- 1.3 Se debe tener en cuenta la distribución por tamaño de nvPM porque los mecanismos de pérdida de partículas dependen del tamaño de las partículas. Estas pérdidas que dependen del tamaño de las partículas se cuantifican en términos de fracción de partículas de un tamaño dado que penetran el sistema de muestreo y medición.

2. DEFINICIONES, SIGLAS Y SÍMBOLOS

2.1 DEFINICIONES

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

COEFICIENTE DE PENETRACIÓN. La proporción de concentración de partículas corriente abajo y corriente arriba de un elemento del sistema de muestreo.

CONCENTRACIÓN EN MASA DE PARTÍCULAS. La masa de las partículas por volumen unitario de muestra.

CONCENTRACIÓN EN NÚMERO DE PARTÍCULAS. El número de partículas por volumen unitario de muestra.

DIÁMETRO AERODINÁMICO DE UNA PARTÍCULA. El diámetro de una esfera equivalente de densidad unitaria (1g/cm³) con la misma velocidad de decantación que la partícula en cuestión, también denominado “diámetro aerodinámico”.

DIÁMETRO DE MOVILIDAD ELÉCTRICA DE UNA PARTÍCULA. Diámetro de una esfera que se mueve exactamente con la misma movilidad en un campo eléctrico que la partícula en cuestión.

DISTRIBUCIÓN DE LOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA. Una lista de valores o función matemática que representa la concentración en número de partículas en función del tamaño.

ÍNDICE DE EMISIÓN EN MASA DE PARTÍCULAS. La masa de partículas emitidas por unidad de masa de combustible utilizada.

ÍNDICE DE EMISIÓN EN NÚMERO DE PARTÍCULAS. El número de partículas emitidas por unidad de masa de combustible utilizada.

LABORATORIO COMPETENTE. Laboratorio de pruebas y calibración que establece, aplica y mantiene un sistema de calidad apropiado para el alcance de sus actividades, en cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025:2005 de la Organización Internacional de Normalización, con sus enmiendas ocasionales, o norma equivalente y cuyo programa de calibración de equipos está diseñado y se utiliza para garantizar que las calibraciones y mediciones efectuadas por el laboratorio sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). No se requiere que el laboratorio esté formalmente acreditado respecto de la norma ISO/IEC 17025:2005.

MATERIA PARTICULADA NO VOLÁTIL (nvPM). Partículas emitidas que existen en el plano de salida de la tobera de escape del motor de las turbinas de gas y que no se volatilizan cuando se las calienta a una temperatura de 350°C.

PÉRDIDA DE PARTÍCULAS. Las partículas que se pierden durante el transporte a través de un componente del sistema de muestreo o a causa del funcionamiento del instrumental. La pérdida en el sistema de muestreo y medición se debe a

diversos mecanismos de deposición, algunos de los cuales dependen del tamaño de la partícula.

SEPARADOR CICLÓNICO. Separa, mediante rotación y fuerza gravitatoria, partículas de mayor tamaño que el diámetro aerodinámico indicado. El punto de corte del diámetro aerodinámico especificado está asociado al porcentaje de partículas que atraviesa el separador ciclónico.

2.2 SIGLAS

CPC	Contador de partículas de condensación
EENEP	Plano de salida de la tobera de escape del motor
nvPMmi	Instrumento de medición de masa de materia particulada no volátil
nvPMni	Instrumento de índice de materia particulada no volátil
nvPM	Materia particulada no volátil (véase la definición)
slpm	Litros normalizados por minuto (litros por minuto en STP)
STP	Condición del instrumento a temperatura (0°C) y presión (101,325 kPa) normalizadas
VPR	Eliminador de partículas volátiles

2.3 SÍMBOLOS

C_C	$1 + \frac{2\lambda}{D_m} \times \left(1,165 + 0,483 \times e^{-\frac{0,997D_m}{2\lambda}}\right)$, factor dimensional Cunningham de corrección de deslizamiento
D	$\frac{kB \times (273,15 + T_i) \times C_C}{3 \times \pi \times \mu \times D_m} \times 10^7$, coeficiente de difusión de partículas, cm ² /s
DF_1	factor de dilución de la primera etapa
DF_2	factor de dilución de la segunda etapa (VPR) según calibración
D_m	diámetro de la partícula de nvPM, se refiere al diámetro de movilidad eléctrica, excepto respecto al separador ciclónico, cuyo diámetro de partícula es el diámetro aerodinámico, nm
D_{mg}	diámetro geométrico medio de distribución por tamaño de la nvPM, nm
D_{xy} , az nm	diámetro aerodinámico al que se detectan xy% (eficiencia de detección) de las partículas de tamaño z
EI_{mass}	índice de emisión en masa de nvPM corregido en función de las pérdidas por termoforesis de la parte de recolección y por composición del combustible, en número/kg de combustible

EI_{num}	índice de emisión en número de nvPM corregido en función de las pérdidas por termoforesis de la parte de recolección y por composición del combustible, en número/kg de combustible
$f_{lgn}(D_m)$	función de distribución logarítmica normal con parámetros de desviación geométrica estándar, σ_g , y diámetro medio geométrico, D_{mg}
$f_N(D_m)$	función de distribución logarítmica normal del número de partículas del EENEP
ID_{ti}	diámetro interno del $i^{\text{ésimo}}$ segmento del conducto de muestreo, mm
k_B	$1,3806 \times 10^{-16}$, constante de Boltzmann, $(g \cdot cm^2)/(s^2 \cdot K)$
$k_{SL_{mass}}$	factor de corrección de EI_{mass} por pérdida del sistema sin la corrección por pérdida por termoforesis de la Parte de recolección
$k_{SL_{num}}$	factor de corrección de EI_{num} por pérdida del sistema sin la corrección por pérdida por termoforesis de la parte de recolección
k_{thermo}	factor de corrección en función de las pérdidas por termoforesis de la parte de recolección, especificado en 6.2.1 del Apéndice 7.
$nvPM_{num_{EP}}$	concentración en número de nvPM del plano de salida de la tobera de escape del motor sin corrección en función de las pérdidas por termoforesis de la Parte de recolección.
$nvPM_{mass_{EP10}}$	concentración en masa de nvPM estimada del plano de salida de la tobera del motor para partículas con diámetros de entre 10 nm y 1 000 nm, número/cm ³
$nvPM_{num_{EP10}}$	concentración en número de nvPM estimada del plano de salida de la tobera del motor para partículas con diámetros de entre 10 nm y 1 000 nm, número/cm ³
$nvPM_{mass_{STP}}$	concentración en masa de nvPM diluido en el instrumento en condición STP, microgramos/m ³
$nvPM_{num_{STP}}$	concentración en número de nvPM diluido en el instrumento en condición STP, número/cm ³
P_i	presión del gas portador en el $i^{\text{ésimo}}$ segmento de la línea de muestreo, kPa
Q_i	flujo del gas portador en el $i^{\text{ésimo}}$ segmento del conducto de muestreo, slpm
Re	$\frac{2 \times \rho_{gas} \times Q_i}{3 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}}$, número de Reynolds del gas portador

$R_{MN}(D_m)$	razón calculada entre la concentración estimada de nvPM en masa y la concentración estimada de nvPM en número
T_i	temperatura del gas portador en el i ésimo segmento del conducto de muestreo, °C
δ	suma del cuadrado de las diferencias relativas entre concentraciones en masa y número medidas y calculadas con corrección en función de la dilución
$\eta_{mass}(D_m)$	coeficiente de penetración total del sistema de muestreo y medición correspondiente al nvPM _{mi} sin pérdidas por termoforesis de la Parte de recolección al tamaño D_m de movilidad eléctrica de las partículas
$\eta_{num}(D_m)$	coeficiente de penetración total del sistema de muestreo y medición correspondiente al nvPM _{ni} sin pérdidas por termoforesis de la Parte de recolección al tamaño D_m de movilidad eléctrica de las partículas
$\eta_i(D_m)$	coeficiente de penetración del i ésimo componente del sistema de muestreo y medición para un tamaño de movilidad eléctrica de partícula D_m
$\eta_{bi}(D_m)$	coeficiente de penetración de la curva del conducto de muestreo del i ésimo componente del sistema de muestreo y medición para un tamaño de movilidad eléctrica de partícula D_m
λ	$67,3 \times 10^{-3} \times \left(\frac{273,15+T_i}{296,15}\right) \times \left(\frac{101,325}{P_i}\right) \times \left(\frac{406,55}{T_i+383,55}\right)$, recorrido medio del gas portador, portador, nm
μ	viscosidad del gas portador, (g/cm·s)
ρ	hipótesis de densidad efectiva de nvPM, g/cm ³
ρ_{gas}	$\frac{29 \times P_i}{8314 \times (273,15+T_i)}$, densidad del gas portador, g/cm ³
σ_g	hipótesis de desviación geométrica estándar de distribución logarítmica normal

3. DATOS NECESARIOS

3.1 EMISIONES DE NVPM

Para calcular los factores de corrección por pérdidas en el sistema, se necesitan las concentraciones siguientes especificadas en el Apéndice 7:

- a) Concentración de nvPM en masa: $nvPM_{mass_STP}$;
- b) Concentración de nvPM en número: $nvPM_{num_STP}$.

3.2 OTRA INFORMACIÓN

Para ejecutar el procedimiento de cálculo se necesita la información adicional indicada en el Adjunto D del Apéndice 7.

4. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA CORRECCIÓN POR PÉRDIDAS DE nvPM EN EL SISTEMA

4.1 DESCRIPCIÓN

Nota 1.- El diagrama de la Figura A8-1 da una visión de conjunto de la metodología para estimar los factores de corrección por pérdidas del sistema.

Nota 2.- El procedimiento iterativo de cálculo se ilustra en la figura A8-2

4.1.1 Los factores de corrección por pérdidas del sistema se deben estimar partiendo de los siguientes supuestos: que la nvPM del EENEP está representada por un valor constante de densidad efectiva de la nvPM, una distribución logarítmica, un valor fijo de desviación geométrica estándar, sin coagulación, limitando las concentraciones de nvPM en masa y número como se describe en la sección dedicada a las limitaciones del método de cálculo, y un tamaño mínimo de partícula por sumatoria de 10 nm.

4.1.1.1 En la metodología de corrección por pérdidas del sistema se debe usar una densidad efectiva de partículas de 1 g/cm³.

4.1.1.2 En la metodología de corrección por pérdidas del sistema se debe usar una distribución logarítmica unimodal con desviación geométrica estándar de 1,8.

4.1.1.3 Si la concentración de nvPM en número en el EENEP que se calcula aplicando:

$$k_{SI,num} \times k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num,STP}$$

excede de 10⁸ partículas/cm³, es posible que se produzca coagulación y esta circunstancia se debe notificar a la DINAC.

Nota 1.- La metodología de corrección por pérdidas del sistema no considera la reducción de la concentración de nvPM en número por coagulación.

Nota 2.- La metodología de corrección por pérdidas del sistema no considera derivas de penetración. Esto no se considera de importancia para los sistemas de medición de nvPM que se ajustan al apéndice 7.

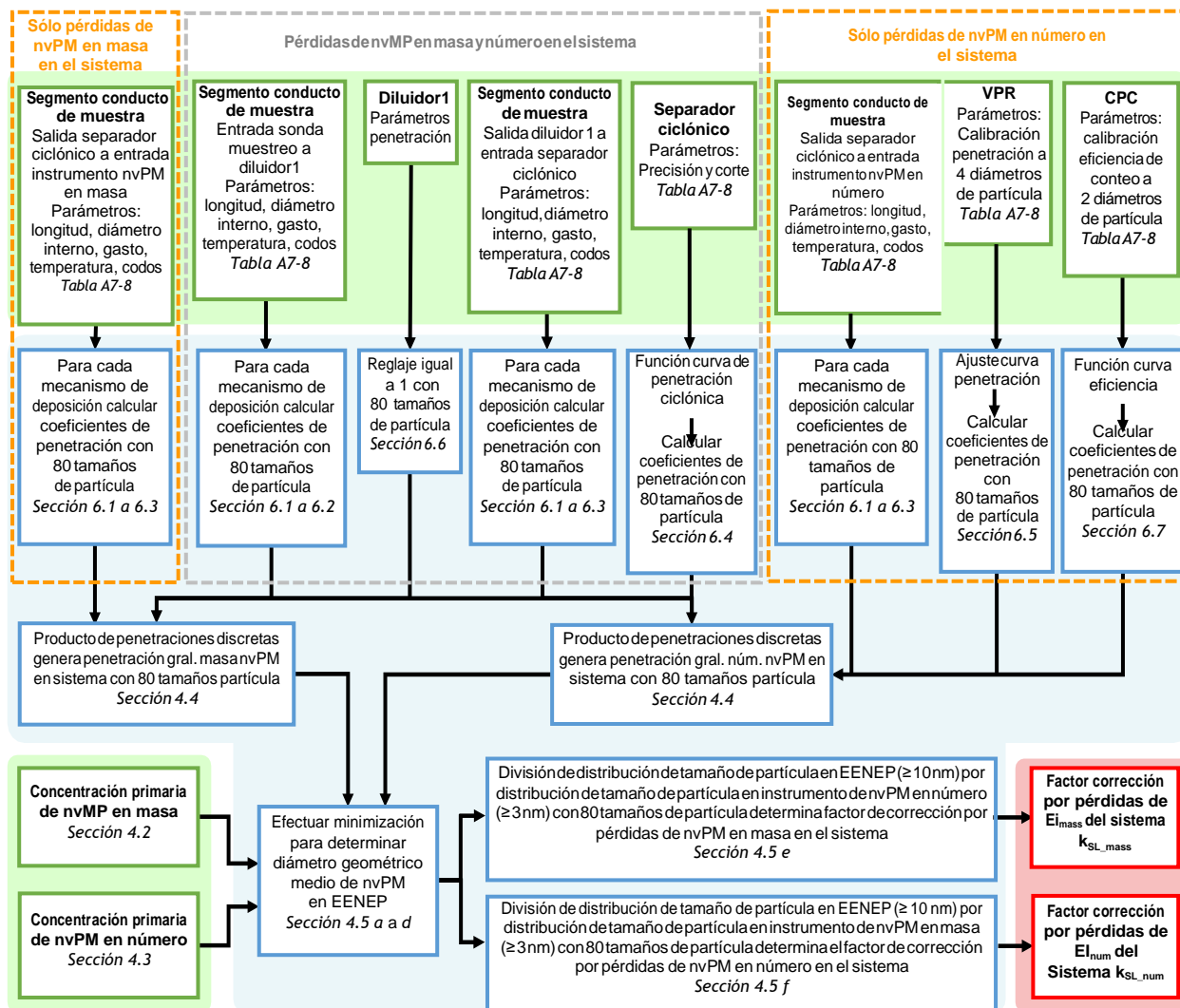


FIGURA A8-1. Ilustración por diagrama de bloques de la metodología de corrección por pérdidas del sistema. los bloques verdes son los parámetros de entrada del modelo y los azules los cálculos. los bloques con contorno rojo ilustran los factores de corrección por pérdidas del sistema calculados.

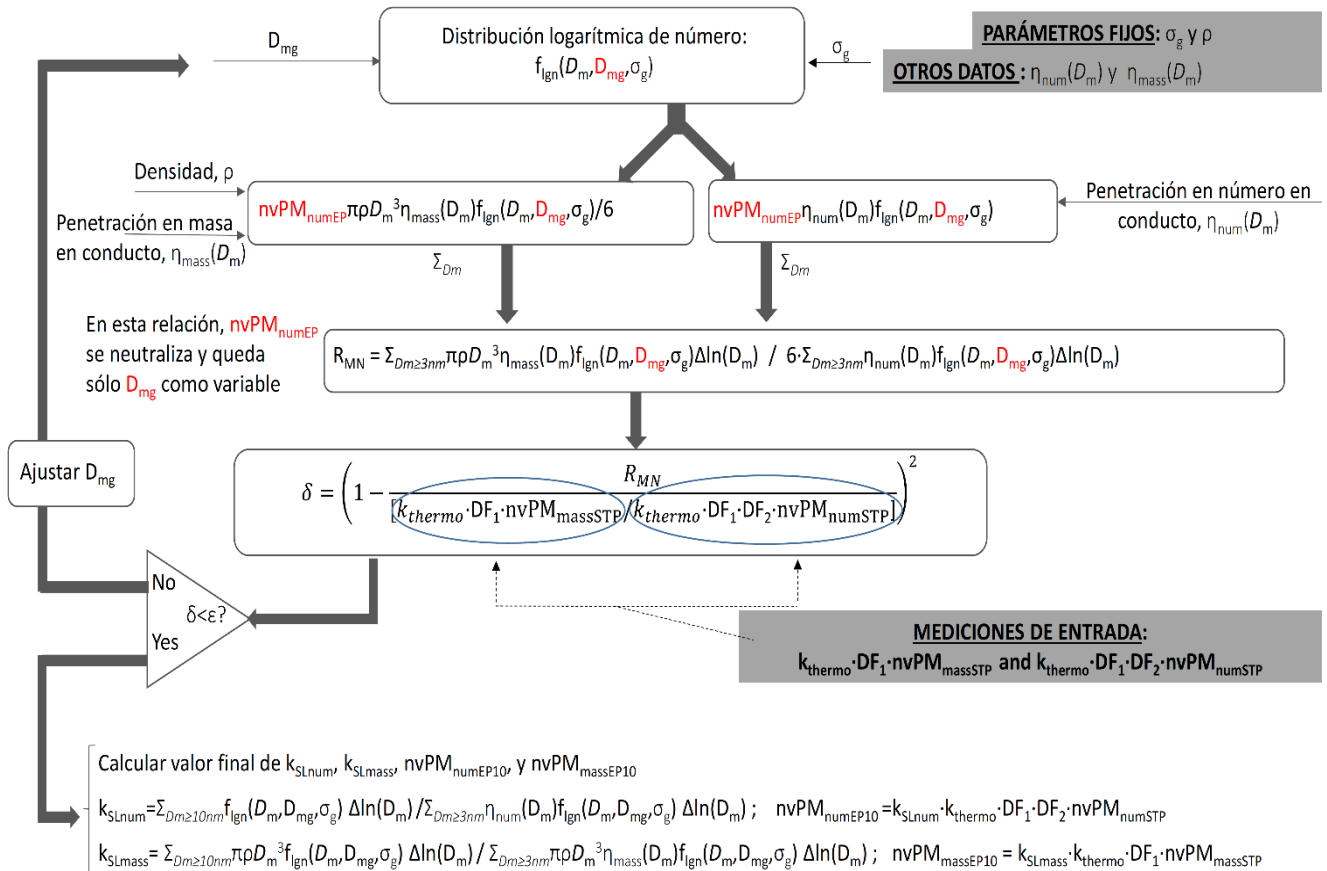


Figura A8-2. Diagrama del procedimiento iterativo de cálculo para determinar los factores de corrección por pérdidas del sistema

4.2 CONCENTRACIÓN PRIMARIA DE NVPM EN MASA

La concentración primaria de nvPM en masa ($nvPM_{mass}$) se calcula con la ecuación siguiente, que se define en el Apéndice 7:

$$nvPM_{num} = k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{num_STP}$$

4.3 CONCENTRACIÓN PRIMARIA DE NVPM EN NÚMERO

La concentración primaria de nvPM en número ($nvPM_{num}$) representa el número de partículas por unidad de volumen de muestra de escape del motor corregido por el factor de dilución de la primera etapa (DF_1) y el factor de dilución de la segunda etapa (DF_2) y la pérdida termodinámica de partículas en la Parte de recolección. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$nvPM_{num} = k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{num_STP}$$

4.4 FUNCIONES DE LA PENETRACIÓN DE NVPM

4.4.1 El coeficiente de penetración del sistema de muestreo es producto de las funciones individuales de la penetración y la eficiencia de conteo, y se debe calcular siguiendo los procedimientos que se describen en la Sección 6. En la Tabla A8-1 se dan las funciones de la penetración y la eficiencia de conteo de nvPM que se requieren.

4.4.2 La penetración del sistema de muestreo correspondiente al nvPMmi con una partícula de diámetro D_m es:

$$\eta_{\text{mass}}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \dots \times \eta_{\text{dil}} \times \eta_{\text{cyc}}$$

4.4.3 La penetración del sistema de muestreo correspondiente al nvPMni con una partícula de diámetro D_m es:

$$\eta_{\text{num}}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \dots \times \eta_{\text{dil}} \times \eta_{\text{cyc}} \times \eta_{\text{VPR}} \times \eta_{\text{CPC}}$$

4.4.4 La penetración termoforética del sistema de muestreo de nvPM en masa y número sin importar el tamaño de las partículas es:

$$\eta_{\text{thermo}} = \eta_{\text{th1}} \times \eta_{\text{th2}} \times \eta_{\text{th3}} \times \dots$$

Nota.– La pérdida termoforética en la Parte de recolección, k_{thermo} , se especifica en el Apéndice 7, 6.2.1, y no se incluye en este cálculo.

Símbolo	Descripción de las funciones de transporte de partículas del sistema de muestreo y medición de nvPM
$\eta_{i(D_m)}$	Coeficiente de penetración por difusión del $i^{\text{ésimo}}$ segmento del sistema de muestreo
$\eta_{bi(\theta_i)}$	Coeficiente de penetración por curvas en el $i^{\text{ésimo}}$ segmento del sistema de muestreo
η_{thi}	Coeficiente de penetración por termoforesis en el $i^{\text{ésimo}}$ segmento del sistema de muestreo
$\eta_{\text{dil}(D_m)}$	Coeficiente de penetración del diluidor 1
$\eta_{\text{cyc}(D_m)}$	Coeficiente de penetración del separador ciclónico
$\eta_{\text{VPR}(D_m)}$	Coeficiente de penetración del VPR
$\eta_{\text{CPC}(D_m)}$	Eficiencia de conteo del CPC

TABLA A8-1. Coeficientes de penetración requeridos de los componentes del sistema de muestreo y medición de nvpm

4.5 CÁLCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN POR PÉRDIDAS DEL SISTEMA

Los factores de corrección por pérdidas del sistema correspondientes a la masa de nvPM (k_{SL_mass}) y el número de nvPM (k_{SL_num}) se deben calcular siguiendo un procedimiento iterativo:

a) Estimar un valor inicial del diámetro geométrico medio con la ecuación:

$$D_{mg} = \sqrt[3]{\frac{6 \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}}{\pi \times \rho \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{mass_STP}}} \times 10^3$$

Nota.- La media aritmética del diámetro calculada por aplicación de esta ecuación arroja el valor inicial de la media geométrica del diámetro, D_{mg} , para el procedimiento iterativo. Al usar las unidades definidas para los datos de entrada, el diámetro de partícula calculado quedará expresado en nm.

b) Con el valor de D_{mg} determinado en el paso a), calcular la relación estimada entre masa de nvPM y número de nvPM, $R_{MN}(D_{mg})$, con la siguiente ecuación:

$$R_{MN}(D_{mg}) = \frac{\sum_{D_m > 3nm\eta}^{1000NM} mass(D_m) \times \frac{\pi \rho D_m^3}{6} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 3nm\eta}^{1000NM} \eta_{num}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

donde las funciones exponenciales derivan de la función de distribución logarítmica,

$$f_{ign}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_g)} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_m)}{\ln(\sigma_g)} \right)^2}$$

$\Delta \ln(D_m) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{\log_{10}(e)}$, es la amplitud de un intervalo de tamaño en el logaritmo natural en base e; e es el número de Euler, y n es el número de intervalos de tamaño de partícula por década.

c) Determinar la diferencia relativa elevada al cuadrado, δ , entre la relación masa/número de nvMP medida y estimada con:

$$\delta = \left\{ 1 - \frac{R_{MN}(D_{mg}) \times 10^{-9}}{[(k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}) / (k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP})]} \right\}^2$$

d) Repetir los pasos b) y c) variando el valor D_{mg} hasta que δ se reduzca a menos de 1×10^{-9} . El valor D_{mg} correspondiente a tal valor minimizado de δ se utilizará entonces para calcular los factores de corrección por pérdidas del sistema.

- e) Calcular el factor de corrección por pérdidas de nvPM en masa del sistema con la ecuación:

$$k_{SL_mass} = \frac{\sum_{D_m > 10nm}^{1000nm} D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

Si se multiplica $E_{I_{mass}}$ por k_{SL} , se obtiene el índice de emisión de nvPM corregido por pérdidas del sistema.

- f) Calcular el factor de corrección por pérdidas de nvPM en número del sistema con la ecuación:

$$k_{SL_num} = \frac{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

Si se multiplica $E_{I_{mass}}$ por k_{SL} , se obtiene el índice de emisión de nvPM corregido por pérdidas del sistema.

- g) Se deben usar en este cálculo un mínimo de 80 tamaños discretos dentro del rango de tamaños de partícula de 3 nm a 1000 nm o un número mínimo de intervalos que puedan producir resultados equivalentes, según lo disponga la DINAC.

Nota 1.- Para 80 tamaños discretos, el número de intervalos de tamaño por década, n , es 32 [véase la definición de $\Delta \ln(D_m)$ más arriba].

Nota 2.- Las sumatorias para calcular los factores de corrección por pérdidas del sistema comienzan en 10 nm en el numerador y 3 nm en el denominador.

Nota 3.- El procedimiento de cálculo puede ejecutarse usando programas de computación disponibles en el comercio.

5. NOTIFICACIÓN Y LIMITACIONES

Nota 1.- Se ha demostrado que el método de cálculo de los factores de corrección por pérdidas del sistema que se describe en el Apéndice 8, sección 4, arroja resultados aceptables con una amplia gama de concentraciones de nvPM en masa y número observadas en las emisiones de nvPM de los motores de turbina de las aeronaves. Sin embargo, se han detectado concentraciones en masa y número de nvPM que proporcionan datos de entrada para el análisis con una fidelidad que puede ser insuficiente para que el método de cálculo arroje resultados de calidad.

Nota 2.- Cualquier variación respecto de los supuestos en los que se basa el método de cálculo según lo establecido en la sección 4.1.1 de este apéndice puede derivar en una variación de los factores de corrección por pérdidas del sistema. De manera similar, cualquier variación en los datos usados en el cálculo arrojará variaciones en los factores de corrección por pérdidas del sistema. Las variaciones

en los datos podrían ser consecuencia de las distribuciones de tamaño de partícula, el sistema de muestreo o los instrumentos. Igualmente, los artefactos de muestreo y medición pueden invalidar el factor de corrección por pérdidas del sistema, por ejemplo, por desprendimiento de las paredes si las concentraciones son bajas. Las limitaciones del método obedecen a variaciones en los datos de entrada más que al método de cálculo en sí.

5.1 GAMAS DE CONCENTRACIÓN EN MASA APLICABLES

5.1.1 Si $nvPM_{mi}$ son inferiores a 3 microgramos/m³, el solicitante confirmará que el D_{mg} en el EENEP está dentro de la gama aplicable que se define en 5.3.

5.1.2 En aquellos casos en que los cálculos de este Apéndice u otros métodos equivalentes no arrojen valores razonables como se indica en 5.3 (por ejemplo, cuando la metodología de cálculo de pérdidas del sistema genera diámetros geométricos medios inferiores a 7 nm o superiores a 100 nm), o ante la falta de convergencia de la metodología de cálculo de las pérdidas del sistema, deberían usarse otros medios alternativos para estimar los factores de corrección por pérdidas del sistema para las modalidades de utilización en el LTO, con la aprobación de la DINAC.

Nota1.- Cuando $nvPM_{mass_STP}$ sea inferior a 3 microgramos/m³, el uso de este método para estimar los factores de corrección por pérdidas del sistema puede dar lugar a importantes incertidumbres en dichos factores estimados.

Nota 2.- No hay actualmente limitaciones conocidas provocadas por altas concentraciones de $nvPM$ en masa, siempre que se verifique que las lecturas de las concentraciones de $nvPM$ en masa se mantienen dentro de la gama del $nvPM_{mi}$ que se utilice.

5.2 GAMAS DE CONCENTRACIÓN EN NÚMERO APLICABLES

5.2.1 Si se determina que la concentración medida de $nvPM$ en número en el $nvPM_{ni}$, tras la corrección por dilución (tanto DF1 como DF2) y pérdida termoforética en la parte de recolección, es inferior o igual a la concentración medida en número de $nvPM$ ambiente¹, el solicitante confirmará que el D_{mg} del EENEP está dentro de la gama aplicable que se define en 5.3.

5.2.2 En aquellos casos en que los cálculos de este apéndice u otros métodos equivalentes no arrojen valores razonables como se indica en 5.3 (por ejemplo, cuando la metodología de cálculo de pérdidas del sistema genera diámetros geométricos medios inferiores a 7 nm o superiores a 100 nm), o ante la falta de convergencia de la metodología de cálculo de las pérdidas del sistema, deberían usarse otros medios alternativos para estimar los factores de corrección por pérdidas del sistema para las modalidades de utilización en el LTO, con la aprobación de la DINAC.

Nota.- Para el $nvPM_{ni}$, no hay actualmente limitaciones conocidas provocadas por bajas concentraciones en número de $nvPM$. Los fabricantes del CPC informan que el LOD del CPC es de aproximadamente 1 partícula/cm³. Las mediciones de altas concentraciones en número se ven limitadas por el requisito de que el CPC se mantenga en modo de conteo unitario. Si las concentraciones en número de

nvPM en el EENEP exceden 108 partículas/cm³, es posible que se esté en presencia de una coagulación de las partículas. El método de cálculo de pérdidas en el sistema no considera la coagulación.

5.3 DIÁMETROS GEOMÉTRICOS MEDIOS PREDICHOS APLICABLES

Nota.- *Se prevé que el diámetro geométrico medio de nvPM en el EENEP proveniente de las turbinas de gas de aeronave se ubique entre 7 y 100 nm.*

5.3.1 Si el método de cálculo de pérdidas del sistema predice un diámetro geométrico medio en el EENEP inferior a 7 nm o superior a 100 nm, y/o un diámetro geométrico medio en el EENEP con el que no se cumpla el criterio de convergencia (δ es superior a 1×10^{-9}), los resultados de k_{SL_mass} y k_{SL_num} se examinarán con la DINAC.

5.3.2 En aquellos casos en que los cálculos de este apéndice u otros métodos equivalentes no arrojen valores razonables (por ejemplo, cuando la metodología de cálculo de pérdidas del sistema genera diámetros geométricos medios inferiores a 7 nm o superiores a 100 nm), o ante la falta de convergencia de la metodología de cálculo de las pérdidas del sistema, deben usarse otros medios alternativos para estimar los factores de corrección por pérdidas del sistema para las modalidades de utilización en el LTO, con la aprobación de la DINAC.

Nota.- *Un diámetro geométrico medio calculado en el EENEP que sea <20 nm provocará que se subestimen los factores de pérdida en el sistema en razón del valor de corte mínimo de la suma de tamaños de partícula. La subestimación puede ser apreciable en el caso de k_{SL_num} si el D_{mg} en el EENEP es ≤ 10 nm.*

6. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR COEFICIENTES DE PENETRACIÓN DE COMPONENTES INDIVIDUALES DEL SISTEMA DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE nvPM

Para estimar la eficiencia de transporte de nvPM con una gama de tamaños de partícula, se deben calcular los coeficientes de penetración de cada componente del sistema de muestreo y medición de nvPM en un mínimo de 80 tamaños discretos de partícula u otro número mínimo de tamaños discretos de partícula que produzca un resultado equivalente, con el acuerdo de la DINAC en la gama de 3 nm a 1000 nm.

Nota 2.- *Los parámetros del sistema de muestreo y medición de nvPM que se requieren para ejecutar los cálculos de los coeficientes de penetración de este apéndice figuran en el Adjunto D del Apéndice 7.*

6.1 COEFICIENTES DE PENETRACIÓN POR DIFUSIÓN EN LOS SEGMENTOS

Los valores de la penetración, $\eta_i(D_m)$, por pérdidas por difusión en los segmentos del sistema de muestreo al tamaño D_m de movilidad eléctrica de las partículas se calculan con la expresión:

$$\eta_i(D_m) = e^{\frac{-\pi \times D_{ti} \times L_i \times V_{d,diff}}{Q_i}}$$

donde:

L_i longitud del $i^{\text{ésimo}}$ segmento del conducto de muestreo, m

$V_{d,diff}$ $0,0118 \times Re^{\frac{7}{8}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \times D/ID_{ti}$, la velocidad de deposición, cm/s

$Sc = \frac{\pi}{\rho_{gas} D} \times 10^3$, el número de Schmidt del gas portador

ID_{ti} diámetro interno del $i^{\text{ésimo}}$ segmento del conducto de muestreo, mm Q_i gasto del gas portador por el $i^{\text{ésimo}}$ segmento del conducto de muestreo, lspm

6.2 COEFICIENTES DE PENETRACIÓN EN LAS CURVAS DE LOS SEGMENTOS

Los coeficientes de penetración en curvas se diferencian entre el flujo turbulento, donde Re es superior a 5 000, y el flujo laminar, donde Re es inferior o igual a 5 000, siendo Re el número de Reynolds. Para el flujo laminar (incluido el régimen de transición), la penetración por curvas en los conductos de transporte de la muestra en cada segmento a un tamaño de movilidad eléctrica de partícula D_m se calcula con la siguiente expresión:

$$\eta_{bi}(D_m) = 1 - 0,01745 \times Stk \times \theta_{bi}$$

Para el flujo turbulento, la penetración por curvas en los conductos de transporte de la muestra se calculará así:

$$\eta_{bi}(D_m) = e^{-0,004927 \times Stk \times \theta_{bi}}$$

donde

$$Stk = \frac{Q_i \times C_c \times \rho \times D^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}^3}, \text{ el número adimensional de Stokes}$$

θ_{bi} ángulo total de curvas en el $i^{\text{ésimo}}$ segmento del conducto de muestreo, grados

6.3 PÉRDIDAS TERMOFORÉTICAS EN LOS SEGMENTOS

Los gradientes térmicos que se producen cuando las temperaturas de las paredes del conducto de muestreo son inferiores a las temperaturas de los gases provocan deposición adicional de partículas, o pérdidas termoforéticas, sobre las superficies del conducto de muestreo. Las pérdidas termoforéticas, excepto las que se producen en la Parte de recolección, se calculan con:

$$\eta_{thi} = \left[\frac{T_{linei+273,15}}{T_{gasi+273,15}} \right]^{2Pr \times K_{th}} \times \left[1 + \left(\frac{T_{gasi+273,15}}{T_{linei+273,15}} - 1 \right) \times e^{\frac{\pi \times ID_i \times h_{gas} \times L_i}{\rho_{gas} \times Q_i \times C_p}} \right]^{Pr \times K_{th}}$$

donde

T_{gasi} temperatura de los gases de la muestra en °C

T_{linei}	temperatura de las paredes del conducto en °C
Th_{gas}	coeficiente de transferencia de calor por convección del gas portador [W/(m ² K)]
C_p	calor específico del gas portador a presión constante [J/(kg K)]
Pr	número de Prandtl
K_{th}	$\frac{2 \times C_s \times C_c}{1 + 3 \times C_m \times K_n} \left[2 + \frac{1}{\left(\frac{K_{gas}}{K_p} \right) + C_t \times K_n} \right]^{-1}$ el coeficiente termoforético
C_s	1,17, coeficiente de deslizamiento
C_m	1,14, cantidad de movimiento de hollín
C_t	2,18, coeficiente térmico
k_{gas}	conductividad térmica del gas portador (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
K_n	2λ/Dm, número de Knudsen
k_p	0.2 Wm ⁻¹ K ⁻¹ , conductividad térmica de la partícula

Nota.- Las pérdidas termoforéticas en la Parte de recolección y el VPR se consideran en la forma establecida en el Apéndice 7, 6.2.1 y 1.5 de este adjunto. Los sistemas conformes a las especificaciones del Apéndice 7 usan instrumentos y segmentos que actualmente no necesitan corregirse por pérdidas termoforéticas, y consecuentemente η_{th} en la práctica equivaldrá a 1,0.

6.4 FUNCIÓN DE PENETRACIÓN EN EL SEPARADOR CICLÓNICO

La función de penetración del separador ciclónico se estimará con la siguiente expresión:

$$\eta_{cyc}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^{D_m} \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu_{cyc})^2}{2\sigma_{cyc}^2}}}{x\sigma_{cyc}\sqrt{2\pi}} dx$$

donde

$\mu_{cyc} \ln(D_{50})$, y

$\sigma_{cyc} \ln(D_{16}/D_{84})^{0,5}$

Nota 1.- Los programas de hoja de cálculo modernos tienen entre sus funciones la distribución logarítmica acumulativa, que pueden servir para generar la función de penetración del separador ciclónico.

Nota 2.- En la mayoría de los usos del motor de turbina de gas, D_m debe ser inferior a 300 nm. En tales casos, la función de penetración del separador ciclónico debe ser en la práctica equivalente a 1,0.

6.5 FUNCIÓN DE PENETRACIÓN EN EL VPR

Nota.- Podría usarse una función continuamente diferenciable facilitada por el laboratorio de calibración que tenga bondad de ajuste (R^2 superior a 0,95) para los cuatro puntos de penetración de calibración en el VPR en reemplazo de la función determinada siguiendo el procedimiento de cálculo que sigue.

Las pérdidas de partículas en el VPR se producen tanto por difusión como por termoforesis. El factor termoforético, η_{VPRth} , es una constante. El factor de difusión, η_{VPRdi} , va determinado por las pérdidas estándar de partículas debidas a la difusión en flujo laminar. La función de penetración total en el VPR se estimará usando la expresión:

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5,5 \times \psi^{\frac{2}{3}} + 3,77 \times \psi & \psi < 0,007 \\ 0,819 \times e^{-11,5\psi} + 0,0975 \times e^{-70,1\psi} + 0,0325 \times e^{-70,1\psi} & \psi > 0,007 \end{cases}$$

donde

$$\psi = \frac{DXL_{VPR} \times 100}{Q_{VPR}}, \text{ parámetro de deposición}$$

L_{VPR} longitud efectiva del VPR, m

Q_{VPR} flujo del gas portador en el VPR, lspm

T_{VPR} temperatura del VPR, °C

η_{VPRth} pérdida termoforética en el VPR

La función de penetración en el VPR (η_{VPR}) se debe ajustar a los cuatro puntos de penetración medidos variando la longitud efectiva del VPR (L_{VPR}) y el factor de pérdida termoforética (η_{VPRth}). El ajuste se calculará minimizando δ_{VPR} , la diferencia cuadrática relativa entre la penetración medida en el VPR, $\eta_{VPRmeas}$, y la función de penetración calculada.

$$\delta_{VPR} = \sqrt{\sum_{D_m} \left(\frac{\eta_{VPRmeas}(D_m) - \eta_{VPR}(D_m)}{\eta_{VPRmeas}(D_m)} \right)^2}$$

Nota.- Se ha demostrado que un valor δ_{VPR} inferior a 0,08 asegura un buen ajuste a las penetraciones medidas.

6.6 FUNCIÓN DE PENETRACIÓN EN EL DILUIDOR 1

Se debe usar una penetración constante del diluidor 1, $\eta_{dil}(D_m) = 1$, con todos los tamaños de partícula.

6.7 EFICIENCIA DE CONTEO DEL CPC

6.7.1 Se debe determinar una función continua de eficiencia de conteo del CPC tomando los dos valores de eficiencia de conteo del CPC especificados con una función sigmoide de dos parámetros usando la expresión:

$$\eta_{CPC} = 1 - e^{-\ln(2) \times \left[\frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]}$$

Donde

$$D_0 = \frac{\alpha_{10} D_{15} - \alpha_{15} D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}}$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15} + 1) - (\alpha_{10} + 1) D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}}$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(1 - \eta_{CPC,i})}{\ln(2)}, i = 10nm \text{ o } 15nm$$

$$D_{10} = 10 \text{ nm,}$$

$$D_{15} = 15 \text{ nm,}$$

$\eta_{CPC,10}$ eficiencia de conteo a 10 nm, y

$\eta_{CPC,15}$ eficiencia de conteo a 15 nm.

6.7.2 El rendimiento de conteo se fijará en cero si el rendimiento de conteo estimado del CPC a partir de la función continua es inferior a cero.

ADJUNTO A. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES GASEOSAS — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA

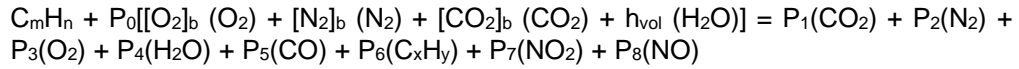
1. SÍMBOLOS

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 de gas 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 ₂ 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 CH ₄ = 16,043 g
M _{NO2}	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 ₂ 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 C _x H _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
[O ₂] _b	concentración de gas O ₂ en aire seco, por volumen = 0,209 5
[N ₂] _b	concentración de gas de N ₂ + gases raros en aire seco, por volumen = 0,790 2
[CO ₂] _b	concentración de gas de CO ₂ en aire seco, por volumen = 0,000 3
P _o	número de moles de aire por mol de combustible en la mezcla inicial aire/combustible
Z	símbolo utilizado y definido en 3.4
[CO ₂]	concentración de gas media de CO ₂ en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
[CO]	concentración de gas media de CO en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
[HC]	concentración de gas media de hidrocarburos del escape, por volumen/volumen, húmeda expresada como carbono
[NO]	concentración de gas media de NO en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
[NO ₂]	concentración de gas media de NO ₂ en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
	$\frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$
[NO _x]	concentración de gas media de NO y NO ₂ en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda = [NO + NO ₂]
[NO _x] _c	concentración de gas media de NO en la muestra del escape una vez pasado el convertidor de NO ₂ a NO, por volumen/volumen, húmeda
[] _d	concentración de gas media en la muestra del escape, pasado el deshidratador frío, por volumen/volumen
[] _m	medida de la concentración de gas media indicada antes de aplicar la corrección del instrumento, por volumen/volumen
h _{vol}	humedad del aire ambiente, vol de agua/vol de aire seco
h _d	humedad de la muestra de emisiones del escape que salen del “secador”, o del “deshidratador frío”, vol de agua/vol de muestra seca
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
η	eficacia del convertidor de NO ₂ a NO

2. BASE PARA CALCULAR LOS PARAMETRO 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:

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

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

$$EI(NOx) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del NO}_2$$

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

2.2. En base a 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 ([O₂]_b, [N₂]_b, [CO₂]_b) corresponden a los valores normales recomendados, si bien pueden asignarse otros valores, a reserva de la restricción [O₂]_b + [N₂]_b + [CO₂]_b = 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 de gas en el producto gaseoso de las emisiones.

$$m + [CO_2]_b P_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

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

$$(2[O_2]_b + 2[CO_2]_b + h_{vol}) P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2[N_2]_b P_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

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

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

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

$$[NOx]_c P_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

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

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

Estas ecuaciones condicionales se aplican en el caso de que todas las concentraciones de gas 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 y de NO, de modo que suele acudir a la medición del CO₂ 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 CO₂ y de H₂O en la muestra, que pueden afectar a los analizadores del CO y del NO_x de maneras básicamente distintas. El analizador de CO tiene tendencia a desplazarse al punto cero, en tanto que el analizador de NO_x experimenta cambios de sensibilidad, representados como sigue:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$y [NO_x]_c = [NO_x]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

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

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

$$[NO_x]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

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

- 2.6. La opción de medir las concentraciones de gas de CO₂ y de CO en base de una muestra seca o parcialmente seca, o sea con la humedad de muestra reducida a *h_d*, requiere el empleo de las ecuaciones condicionales modificadas siguientes:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

y

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Sin embargo, el analizador de 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 de gas de CO, pasa a ser:

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

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 la Sección 7.1. Esta reducción constituye un proceso de eliminación progresiva de las raíces de P₀, P₁ a P₈, P_T, en el supuesto de que todas las mediciones de la concentración de gas 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 de gas “seca” o “semiseca” del CO₂ 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 de este adjunto.

3.2. ECUACIÓN PARA CONVERTIR LAS MEDICIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS SECA A HÚMEDA

Concentración de gas húmeda = K x concentración de gas seca; es decir:

$$[] = K []_d$$

La expresión siguiente de K se aplica cuando el CO y el CO₂ se determinan “en seco”.

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

3.3. CORRECCIONES DEBIDAS A INTERFERENCIAS

Es posible que las mediciones de CO de NOx y de NO requieran correcciones para anular la interferencia ocasionada por las concentraciones de CO₂ y de agua, en la muestra, antes de utilizarlas en estas ecuaciones analíticas. Tales correcciones pueden normalmente expresarse de las formas generales siguientes:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M(h_d / 1+h_d)$$

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

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

3.4. ECUACIÓN PARA CALCULAR EL AGUA DE LA MUESTRA

Concentración de agua en la muestra

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

Donde

$$\frac{P_0}{m} = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [(CO_2)_b Z/2])}$$

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

Cabe señalar que esta estimación es función de las lecturas de los distintos análisis de concentración de gas, 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 de gas húmedas corregidas, 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 de gas 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 B. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE LAS EMISIONES GASEOSAS DE MOTORES DE TURBINA DE GAS CON POSCOMBUSTIÓN — BASE, CORRECCIONES DE LA MEDICIÓN Y MÉTODO NUMÉRICO DE ALTERNATIVA

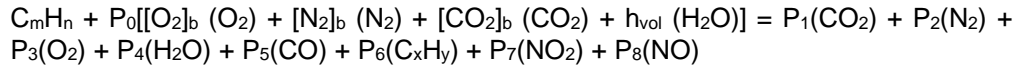
1. SÍMBOLOS

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 de gas 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 ₂ 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 CH ₄ = 16,043 g
M _{NO2}	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 ₂ 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 C _x H _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	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$
$[O_2]_b$	concentración de gas O_2 en aire seco, por volumen = 0,209 5
$[N_2]_b$	concentración de gas de N_2 + gases raros en aire seco, por volumen = 0,790 2
$[CO_2]_b$	concentración de gas de CO_2 en aire seco, por volumen = 0,000 3
P_o	número de moles de aire por mol de combustible en la mezcla inicial aire/combustible
Z	símbolo utilizado y definido en 3.4
$[CO_2]$	concentración de gas media de CO_2 en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
$[CO]$	concentración de gas media de CO en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
$[HC]$	concentración de gas media de hidrocarburos del escape, por volumen/volumen, húmeda expresada como carbono
$[NO]$	concentración de gas media de NO en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
$[NO_2]$	concentración de gas media de NO_2 en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda
	$\frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$
$[NO_x]$	concentración de gas media de NO y NO_2 en la muestra del escape, por volumen/volumen, húmeda = $[NO + NO_2]$
$[NO_x]_c$	concentración de gas media de NO en la muestra del escape una vez pasado el convertidor de NO_2 a NO, por volumen/volumen, húmeda
$[]_d$	concentración de gas media en la muestra del escape, pasado el deshidratador frío, por volumen/volumen
$[]_m$	medida de la concentración de gas media indicada antes de aplicar la corrección del instrumento, por volumen/volumen
h_{vol}	humedad del aire ambiente, vol de agua/vol de aire seco
h_d	humedad de la muestra de emisiones del escape que salen del “secador”, o del “deshidratador frío”, vol de agua/vol de muestra seca
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
η	eficacia del convertidor de NO_2 a NO

2. BASE PARA CALCULAR LOS PARAMETRO 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:

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

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

$$EI(NOx) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_c + nM_H} \right) \text{ expresado como equivalente del NO}_2$$

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

2.2. En base a 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 ([O₂]_b, [N₂]_b, [CO₂]_b) corresponden a los valores normales recomendados, si bien pueden asignarse otros valores, a reserva de la restricción [O₂]_b + [N₂]_b + [CO₂]_b = 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 de gas en el producto gaseoso de las emisiones.

$$m + [CO_2]_b P_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

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

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

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

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

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

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

$$[NOx]_c P_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

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

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

Estas ecuaciones condicionales se aplican en el caso de que todas las concentraciones de gas 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 y de NO, de modo que suele acudir a la medición del CO₂ 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 CO₂ y de H₂O en la muestra, que pueden afectar a los analizadores del CO y del NOx de maneras básicamente distintas. El analizador de CO tiene tendencia a desplazarse al punto cero, en tanto que el analizador de NOx experimenta cambios de sensibilidad, representados como sigue:

$$[CO] = [CP]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$y [NOx]_c = [NOx]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

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

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

$$[NOx]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

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

- 2.6. La opción de medir las concentraciones de gas de CO₂ y de CO en base de una muestra seca o parcialmente seca, o sea con la humedad de muestra reducida a h_d, requiere el empleo de las ecuaciones condicionales modificadas siguientes:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

y

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Sin embargo, el analizador de 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 de gas de CO, pasa a ser:

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

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 la Sección 7.1. Esta reducción constituye un proceso de eliminación progresiva de las raíces de P₀, P₁ a P₈, P_T, en el supuesto de que todas las mediciones de la concentración de gas 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 de gas “seca” o “semiseca” del CO₂ 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 de este adjunto.

3.2. ECUACIÓN PARA CONVERTIR LAS MEDICIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS SECA A HÚMEDA

Concentración de gas húmeda = K x concentración de gas seca; es decir:

$$[] = K []_d$$

La expresión siguiente de K se aplica cuando el CO y el CO₂ se determinan “en seco”.

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

3.3. CORRECCIONES DEBIDAS A INTERFERENCIAS

Es posible que las mediciones de CO de NOx y de NO requieran correcciones para anular la interferencia ocasionada por las concentraciones de CO₂ y de agua, en la muestra, antes de utilizarlas en estas ecuaciones analíticas. Tales correcciones pueden normalmente expresarse de las formas generales siguientes:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M(h_d / 1+h_d)$$

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

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

3.4. ECUACIÓN PARA CALCULAR EL AGUA DE LA MUESTRA

Concentración de agua en la muestra

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

Donde:

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

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

Cabe señalar que esta estimación es función de las lecturas de los distintos análisis de concentración de gas, 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 de gas húmedas corregidas, 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 de gas 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.
