



**APRUEBA “PROTOCOLO PARA VALIDACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES [CEMS] EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS”**

**RESOLUCIÓN EXENTA N° 57**

**Santiago, 22 ENE. 2013**

**VISTOS:**

Lo dispuesto en el artículo segundo de la Ley N° 20.417, que establece la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la Ley N° 19.880, que establece las Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; en la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el Decreto Supremo N° 13, de 18 de enero de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas; en el Decreto Supremo N° 17, de 31 de mayo de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente; en el Decreto con Fuerza de Ley N° 3, de 11 de septiembre de 2010, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que Fija la Planta de la Superintendencia del Medio Ambiente; y en la Resolución N° 1.600, de 30 de octubre de 2008, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de Toma de Razón;

**CONSIDERANDO:**

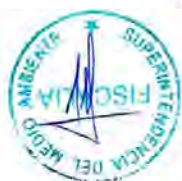
1° El inciso primero del artículo 2° de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, que establece que esta Superintendencia es el servicio público creado para ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de los instrumentos de gestión ambiental que dispone la Ley;

2° La letra ñ) del artículo 3° de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, que establece que la Superintendencia podrá impartir directrices técnicas de carácter general y obligatorio, definiendo los protocolos, procedimientos y métodos de análisis que los organismos fiscalizadores, las entidades acreditadas conforme a esta ley y, en su caso, los sujetos de fiscalización, deberán aplicar para el examen, control y medición del cumplimiento de las Normas de Emisión;

3° Lo dispuesto en el artículo 7° del Decreto Supremo N° 13, de 18 de enero de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, que asigna el control y la fiscalización del cumplimiento de la misma a esta Superintendencia, de conformidad con lo establecido en el artículo segundo de la ley N° 20.417;

4° Lo dispuesto en el artículo 8° del Decreto Supremo N° 13, de 18 de enero de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, que obliga a las fuentes emisoras existentes y nuevas a instalar y certificar un sistema de monitoreo continuo de emisiones para Material Particulado (MP), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y otros parámetros de interés, de acuerdo a lo indicado en la Parte 75, volumen 40 del Código de Regulaciones Federales (CFR) de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), debiendo dicho sistema de monitoreo continuo de emisiones ser aprobado mediante resolución fundada de la Superintendencia;

5° Lo dispuesto en el artículo 9° del Decreto Supremo N° 13, de 18 de enero de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas; que otorga a las fuentes emisoras existentes el plazo de dos años para instalar y certificar el sistema de monitoreo continuo de emisiones, contado desde la fecha de





entrada en vigencia de dicho decreto; mientras que a las fuentes emisoras nuevas les obliga a incorporar el sistema de medición continuo desde su puesta en servicio;

6° Que el Decreto Supremo N° 13, de 18 de enero de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, fue publicado en el Diario Oficial el 23 de junio de 2011, fecha desde la cual comienza a computarse el plazo de dos años señalado en el considerando anterior;

7° El Oficio Ordinario N° 542, de 14 de diciembre de 2012, de la Superintendencia del Medio Ambiente, dirigido al Ministerio del Medio Ambiente, en el cual se acompañó el documento técnico "Protocolo para Validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones [CEMS]", con la finalidad de solicitar su informe previo, en virtud del artículo 48 bis de la Ley N° 19.300, por tratarse de un acto administrativo para la ejecución o implementación de normas de emisión;

8° El Oficio Ordinario N° 130214, de 16 de enero de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, dirigido a la Superintendencia del Medio Ambiente, por el cual, en virtud de lo dispuesto en el artículo 48 bis de la Ley N° 19.300, evacúa informe pronunciándose favorablemente sobre el documento técnico;

#### RESUELVO:

**ARTÍCULO PRIMERO. Aprueba protocolo.** Apruébase el documento técnico "Protocolo para Validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones [CEMS] en Centrales Termoeléctricas", cuyo texto íntegro se acompaña a la presente resolución, entendiéndose formar parte de la misma. En dicho documento se establece la programación general de ensayos de validación, incluyendo los requerimientos de información asociados y sus plazos de entrega; los ensayos de validación a ejecutar; los requerimientos generales y específicos para su validación; las fórmulas aplicables para cada ensayo; y en general, todo los requisitos necesarios para la aprobación de los Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones.

**ARTÍCULO SEGUNDO. Ámbito de aplicación.** El citado Protocolo aplica únicamente para la validación inicial de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones: (i) instalados o por instalar, (ii) en el efluente de la fuente emisora, (iii) sea que dicho efluente considere una o más unidades de generación eléctrica, afectas al cumplimiento del Decreto Supremo N° 13, de 18 de enero de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, y (iv) que midan concentración y tasa de emisión másica para los contaminantes: Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Material Particulado (MP) y parámetros de interés tales como humedad, flujo, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y Oxígeno (O<sub>2</sub>).

**ARTÍCULO TERCERO. Requerimientos posteriores a la aprobación inicial del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones.** Con posterioridad a la resolución que apruebe inicialmente el Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones, el titular de la fuente: (i) deberá someter el Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones a auditorías anuales para extender su aprobación por períodos de un año; (ii) deberá cumplir con los debidos procedimientos de control de calidad que aseguren el óptimo funcionamiento continuo del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones, (iii) deberá cumplir con los procedimientos de sustitución de datos, cuando se requiera; (iv) deberá informar a la Superintendencia, con una antelación de 45 días hábiles, las modificaciones o intervenciones que se realizarán al equipo de Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones o al efluente donde esté instalado, debiendo proceder a revalidar el Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones con posterioridad a la realización de las modificaciones o intervenciones; y (v) deberá informar a la Superintendencia, los daños o la destrucción del equipo Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones y/o del efluente donde esté instalado, en el plazo de 3 días contados desde su acaecimiento.





Respecto de los puntos anteriores, la Superintendencia dictará los protocolos adicionales necesarios para su adecuada implementación.

**ARTÍCULO CUARTO. Accesibilidad.** El texto original del protocolo que se aprueba mediante la presente resolución será archivado en la Oficina de Partes de la Superintendencia del Medio Ambiente, y además estará accesible al público en su página web: <http://www.sma.gob.cl>

**ARTÍCULO FINAL. Régimen excepcional.** De manera excepcional, a efectos de los procedimientos de validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones que sean llevados a cabo antes del 31 de junio de 2013, la Superintendencia del Medio Ambiente autorizará para su realización, y en consecuencia serán consideradas Entidades de Inspección para esos únicos efectos, a:

(i) Laboratorios nacionales con autorización vigente ante las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud que corresponda. En la información adjunta remitida con el "Informe de Resultados de los Ensayos de Validación", se debe acompañar un certificado o documento original expedido por dicha autoridad que acredite su autorización para ejecutar mediciones bajo los respectivos métodos de referencia indicados en el Protocolo.

(ii) Laboratorios extranjeros con autorización vigente ante las respectivas autoridades, nacionales o estatales, medioambientales o sanitarias. En la información adjunta remitida con el "Informe de Resultados de los Ensayos de Validación", se debe acompañar los documentos expedidos por dichas autoridades, que acrediten su autorización para ejecutar mediciones bajo los respectivos métodos de referencia indicados en el Protocolo, en su versión EPA, o en los equivalentes EPA de sus respectivas jurisdicciones nacionales o comunitarias. Dichos documentos deberán ser certificados, en sucesivo orden, por el Ministerio de Relaciones Exteriores del Estado emisor del documento, y por el Consulado Chileno en dicho Estado, y luego ser legalizados ante el Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile.

Los ensayos de validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones podrán ser llevados a cabo por cualquier laboratorio, consultora o entidad, sin embargo, para los ensayos de exactitud relativa para Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones de gases, y ensayos de correlación para Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones de Material Particulado (MP) y aplicación de métodos de referencia en general, deberán subcontratar a un laboratorio incluido dentro de los numerales (i) y (ii) anteriores.

**ANÓTESE, PUBLÍQUESE EN DIARIO OFICIAL, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.**

  
JUAN CARLOS MONCKEBERG FERNÁNDEZ  
Superintendente del Medio Ambiente (S)

  
JHR/FJA

Distribución:

- Fiscalía
- División de Fiscalización
- División de Desarrollo Estratégico y Estudios
- Unidad de Instrucción y Procedimientos Sancionatorios
- Departamento de Tecnologías de la Información
- Ministerio del Medio Ambiente
- Oficina de Partes





Superintendencia del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile

**PROTOCOLO PARA VALIDACION DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES  
"CEMS" EN CENTRALES TERMoeLECTRICAS.**



22 ENE. 2013

**SANTIAGO, ENERO 2013**



<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>2. ALCANCE</b>	2
<b>3. DEFINICIONES</b>	2
<b>4. PROGRAMACIÓN GENERAL DE ENSAYOS DE VALIDACIÓN Y AVISOS A LA AUTORIDAD</b>	2
4.1. INFORME PREVIO DE VALIDACIÓN	2
4.2. AVISO DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN	3
4.3. ORDEN DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN	3
4.4. INFORME DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN	3
4.5. APROBACIÓN DE LA VALIDACIÓN DEL CEMS	4
4.6. CONEXIÓN DEL CEMS Y REPORTES DE MONITOREO	4
4.7. ALMACENAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS	5
<b>5. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA VALIDACIÓN DE CEMS</b>	5
5.1. ESPECIFICACIONES DE INSTALACIÓN Y LUGAR DE MEDICIÓN DEL CEMS	5
5.1.1. UBICACIÓN DEL CEMS DE GASES	5
5.1.2. UBICACIÓN DEL CEMS DE FLUJO	6
5.1.3. UBICACIÓN DEL CEMS DE MATERIAL PARTICULADO (CEMS-MP)	7
5.1.4. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE OPACIDAD (COMS)	7
5.2. REQUISITOS GENERALES DEL SISTEMA DE TOMA DE MUESTRA DEL CEMS	7
5.2.1. SONDA DE MUESTREO	7
5.2.2. LÍNEA DE MUESTREO	8
5.2.3. SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA	8
5.2.4. BOMBAS DE MUESTREO	8
5.2.5. ANALIZADORES	9
5.2.6. CASSETAS	9
5.3. DETERMINACION DEL VALOR SPAN Y RANGOS DE ESCALA	9
5.4. GASES DE CALIBRACIÓN	10
5.5. ALTERNATIVAS PARA MEDIR HUMEDAD	11
<b>6. REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS PARA VALIDACION DE CEMS</b>	11
6.1. VALIDACION DE CEMS DE GASES	11
6.1.1. ENSAYOS DE DESVIACION DE CALIBRACION (DC)	11
6.1.2. ENSAYO DE ERROR DE LINEALIDAD (EL)	14
6.1.3. ENSAYOS DE EXACTITUD RELATIVA (ER)	15
6.1.4. DETERMINACION DEL TIEMPO DE RESPUESTA	17
6.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFERENCIA (MR)	18
6.2.1. SITIO DE MEDICIÓN	18
6.2.2. PUNTO DE MEDICIÓN	19
6.3. VALIDACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE OPACIDAD	19
6.4. VALIDACION DE CEMS DE MATERIAL PARTICULADO	21
6.4.1. ENSAYOS DE MARGEN DE ERROR (ME)	21
6.4.2. ENSAYOS DE CORRELACION	23
6.4.3. MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS RECOLECTADOS DEL CEMS-MP	25
6.4.4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA CORRELACIÓN	25
6.4.5. EXTRAPOLACIÓN DE LA CORRELACIÓN	26
<b>7. FORMULAS APLICABLES</b>	27
7.1. ENSAYOS DE VALIDACION CEMS DE GASES (DC, EL Y ER)	27
7.2. ENSAYOS DE VALIDACION CEMS-MP (ME Y CORRELACIONES)	29
7.2.1. MARGEN DE ERROR EN ESCALA SUPERIOR (ES)	29
7.2.2. MARGEN DE ERROR EN CERO (EC)	29
7.3. ENSAYOS DE CORRELACIONES	29
7.3.1. CORRELACIÓN LINEAL	29
7.3.2. CORRELACIÓN POLINOMIAL	32
7.3.3. CORRELACIÓN LOGARÍTMICA	35
7.3.4. CORRELACIÓN EXPONENCIAL	36
7.3.5. CORRELACIÓN DE POTENCIA	38
7.4. DETERMINACIÓN DE EMISIONES EN MASA	38
<b>ANEXO I: DEFINICIONES APLICABLES</b>	43

## 1. INTRODUCCIÓN

Considerando las exigencias establecidas en el artículo 8° del D.S. N° 13 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, en cuanto recae sobre las fuentes emisoras la obligación de instalar y validar un Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS<sup>1</sup>) para ciertos contaminantes y parámetros de interés, y que además, recae sobre la Superintendencia del Medio Ambiente la obligación de verificar su instalación y validación y de ser procedente, dictar su aprobación – considerada como certificación del CEMS – se establece el presente Protocolo para regular aspectos técnicos asociados a la implementación, validación y aprobación de los CEMS, con la finalidad de asegurar que los resultados de sus mediciones sean confiables y se corroboren con una metodología de referencia aceptada.

## 2. ALCANCE

El siguiente protocolo establece los requerimientos y ensayos para la instalación y validación de CEMS en chimenas o ductos de unidades de generación eléctrica – afectas al D.S. N° 13 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente – para el monitoreo de la concentración y tasa de emisión másica de los contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Material Particulado (MP) y de parámetros de interés tales como humedad, flujo, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

## 3. DEFINICIONES

Las definiciones que aplican a este protocolo se encuentran en el Anexo I.

## 4. PROGRAMACIÓN GENERAL DE ENSAYOS DE VALIDACIÓN Y AVISOS A LA AUTORIDAD

Se deberá cumplir con la siguiente programación para la validación de un CEMS:

### 4.1. INFORME PREVIO DE VALIDACIÓN

El titular de la fuente deberá presentarlo a la Superintendencia con un mínimo de 30 días hábiles previos a la ejecución de los ensayos de validación, en formato digital y debe contener la siguiente información:

- a) **Estado de implementación:** Proporcionar una descripción general sobre el estado actual del proceso de implementación del CEMS.
- b) **Antecedentes de la fuente:** Indicar el tipo de fuente; autorizaciones, inscripciones en registros, certificados de revisiones y pruebas u otros documentos vigentes que den cuenta de la autorización y del funcionamiento de la fuente; ubicación georreferenciada; condiciones de operación; tecnologías de abatimiento (si corresponde); altura y diámetro interno de la chimenea o ducto; velocidad y temperatura de salida de los gases; y configuración de la chimenea (indicando como se descargan los gases de la chimenea de la unidad a la atmósfera, si es a través de una sola chimenea, múltiples chimeneas, chimenea común con otras unidades, bypass, entre otros).
- c) **Relación entre proceso y emisiones:** Explicar la relación entre el proceso, sus emisiones y las exigencias que aplican al monitoreo de emisiones de acuerdo a la norma aplicable.
- d) **Antecedentes del CEMS y sus componentes:** Identificar y describir el CEMS que se validará (tipo, principio de funcionamiento y componentes); adjuntar fotografías de los componentes instalados (sonda en la chimenea o ducto y analizadores respectivos) que den cuenta de su estado; un plano o diagrama de la chimenea con la identificación de ubicación de todos los dispositivos que conforman el CEMS y puntos de muestreo en la chimenea; informar los rangos de medición de los analizadores y la justificación de su elección.
- e) **Especificaciones técnicas del CEMS:** Proporcionar el manual de operación y especificaciones técnicas de los equipos de medición y componentes del CEMS que será validado, indicando las características técnicas más significativas de sus componentes.
- f) **Procedimientos de calibración y mantenimiento del CEMS:** Proporcionar documento que contenga los procedimientos de calibración y mantenimiento de los equipos del CEMS,

<sup>1</sup> Acrónimo – en inglés – de Continuous Emission Monitoring Systems.

distinguiendo la calibración inicial y los chequeos de calibración, indicando las frecuencias y su ejecución.

- g) **Procedimientos de operación del CEMS:** Describir los procedimientos de operación del CEMS; horarios de las calibraciones automáticas que realiza (Cero y Span), chequeos internos, calendario de mantenimiento preventivo, descripción del sistema y procedimientos de alarmas del CEMS.
- h) **Sistema de recolección de datos y generación de reportes:** describir el sistema de adquisición y manejo de datos del CEMS, en cuanto a software y hardware y como funciona; indicar el formato de almacenaje de datos y su seguridad ante manipulaciones y si el dato se almacena crudo o estandarizado y ruta de cálculo de la estandarización de los datos; indicar los reportes que serán informados.

Sin perjuicio de lo anterior, la Superintendencia podrá requerir otros documentos que considere pertinentes de evaluar para el informe previo de validación.

#### 4.2. AVISO DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN

El titular de la fuente deberá presentarlo a la Superintendencia con un mínimo de 15 días hábiles previos a la realización de los ensayos de validación, debiendo contener al menos la siguiente información:

- Ensayos que se realizarán.
- Métodos de medición y de análisis que se aplicarán.
- Entidad de Inspección que ejecutará los ensayos.
- Carta Gantt de los ensayos.
- Condiciones de operación de la fuente durante los ensayos (que considere al menos, combustible con que opera, horas de operación, porcentaje de carga).
- Ubicación de los puertos de muestreo para todas las pruebas que se realizarán.

#### 4.3. ORDEN DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN

La ejecución de los ensayos de validación de los CEMS de gases y flujo deberá acogerse (según sea aplicable) al siguiente orden:

- 1° Ensayo de Desviación de la Calibración.
- 2° Ensayo de Linealidad.
- 3° Ensayo de Exactitud Relativa.

Para los CEMS de Opacidad, el orden es el siguiente:

- 1° Pruebas de funcionamiento y auditorias de campo.
- 2° Período de prueba operacional.

Para los CEMS-MP, el orden es el siguiente:

- 1° Ensayo de Margen de Error.
- 2° Ensayos para obtener curvas de correlación.

El orden de los ensayos, se aplicará de tal forma que si no cumple la Desviación de la Calibración, no se podrá continuar con la realización del segundo ensayo. De igual forma, si no cumple con el Error de Linealidad, no podrá continuar con el ensayo de Exactitud Relativa. El mismo orden se aplicará para los ensayos del CEMS-MP. Se deberá determinar además el tiempo de respuesta de cada CEMS que se esté validando.

#### 4.4. INFORME DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN

La Entidad de Inspección responsable de la ejecución de los ensayos deberá presentarlo a la Superintendencia en un máximo de 20 días hábiles contados desde la culminación de los ensayos de validación programados por el titular, en formato impreso y digital. En el caso del

formato impreso, el informe de resultados deberá contener las planillas originales con los datos recolectados en terreno por el Método de Referencia y los datos proporcionados por el CEMS.

El informe de resultados deberá contener al menos la siguiente información según sea aplicable de acuerdo al CEMS validado:

- a) Resumen Ejecutivo.
- b) Descripción general del proceso de la fuente.
- c) Descripción de los equipos y principios de operación.
- d) Cálculos y resultados de Desviación de la Calibración.
- e) Cálculos y resultados de determinación de Error de Linealidad.
- f) Cálculos y resultados de verificación de Exactitud Relativa, informando todas las corridas de medición realizadas, incluso aquellas que fueron descartadas.
- g) Cálculos y resultados de Ensayo de Margen de Error.
- h) Cálculos y resultados de los Ensayos de correlación, informando todas las corridas de medición realizadas, incluso aquellas que fueron descartadas.
- i) Los Coeficientes de Correlación obtenidos, Intervalo de Confianza e Intervalo de Tolerancia.
- j) Cálculos y resultados de los Ensayos para Sistemas Opacímetros (COMS).
- k) Condiciones de operación de la fuente, diagramas y planos de ubicación de los CEMS.
- l) Conclusiones.
- m) Informe de medición de la Entidad de Inspección y análisis, deberá incluir al menos: las hojas de terreno, resultados de análisis, certificados de gases patrones y valores de referencia (según corresponda) utilizados en los ensayos, certificados de calibración vigente ante el ISP de equipos y/o instrumentos utilizados en la ejecución del Método de Referencia.
- n) Informe de medición del CEMS que incluya al menos, registro de datos y calibraciones realizadas durante el período de prueba.

Se deberá incluir las planillas Excel que den cuenta de los cálculos y resultados de cada ensayo.

#### 4.5. APROBACIÓN DE LA VALIDACIÓN DEL CEMS

Una vez revisado el informe de resultados de los ensayos de validación y establecida su conformidad con los límites aplicables, la Superintendencia dictará mediante resolución fundada, la aprobación del CEMS que ha sido sometido a validación, el cual deberá comenzar con el registro y reporte de las emisiones que genera la fuente fija en la cual ha sido instalado para efectos de verificar cumplimiento de la norma de emisión asociada.

#### 4.6. CONEXIÓN DEL CEMS Y REPORTES DE MONITOREO

Una vez aprobado por primera vez un CEMS, el titular de la fuente deberá permitir la conexión en línea y en forma permanente de los datos que registra el CEMS con el "Sistema de Vigilancia de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos" (SIVECAT) de la Superintendencia. Las pautas de conexión necesarias para incorporar el Protocolo de comunicación requerido serán establecidas en las instrucciones de carácter general y obligatorio que para dichos efectos imparta la Superintendencia

Sin perjuicio de lo indicado anteriormente sobre la conexión de datos en línea, la información generada por el CEMS debe ser ingresada a la Superintendencia trimestralmente, en medio digital con todos los datos crudos del trimestre y los acumulados del año, y en un informe escrito con carácter de resumen ejecutivo, que contenga al menos la siguiente información:

- Datos de la empresa
- Datos de la unidad: tipo de unidad, capacidad máxima de consumo, rango de operación de la unidad, tipos de combustible quemados, tipos de controles de emisión, ubicación georreferenciada de la fuente (coordenadas UTM, datum WGS-84, huso 19 ó 18, según corresponda), altura y diámetro interno, velocidad y temperatura de salida de los gases y configuración de la chimenea (indicando como se descargan los gases de la chimenea de la



- unidad a la atmósfera, si es a través de una sola chimenea, múltiples chimeneas, chimenea común con otras unidades, bypass, etc.).
- Período de monitoreo y descripción de la metodología usada para el monitoreo de cada contaminante o parámetro, incluyendo marca, modelo y número de serie de cada analizador y rango Span del analizador.
  - Resultados obtenidos: concentración promedio horario para cada contaminante expresado en ppm, mg/Nm<sup>3</sup> corregido por O<sub>2</sub> y normalizado, y en mg/MWh; valores de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y humedad en porcentaje; flujo de gases de salida en Nm<sup>3</sup>/h; temperatura de combustión mínima y máxima en °C.
  - Condiciones de operación: tipo, composición química y consumo del combustible utilizado (contenido de azufre, cenizas, mercurio, vanadio, níquel, poder calorífico y densidad del combustible) por cada unidad, horas de encendido, en régimen y detenciones programadas y no programadas indicando el tipo de falla.
  - Análisis de los datos y comentarios.
  - Reporte de reemplazo de datos según Tabla N°1.

**Tabla N°1:  
Reporte de reemplazo de datos inválidos o perdidos**

Mes	Día	Periodo de pérdida o invalidación	Motivo	Valor de reemplazo

#### 4.7. ALMACENAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS

La información validada operacionalmente deberá ser almacenada y guardada por un mínimo de 3 años, mediante el uso de software y hardware apropiados.

### 5. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA VALIDACIÓN DE CEMS

Los requisitos generales que el titular de la fuente debe cumplir para la ubicación de instalación y medición del CEMS, requisitos del sistema de toma de muestra, casetas, valor Span y rango de escala, gases de calibración y métodos para medir humedad, son los siguientes:

#### 5.1. ESPECIFICACIONES DE INSTALACIÓN Y LUGAR DE MEDICIÓN DEL CEMS

##### 5.1.1. UBICACIÓN DE CEMS DE GASES

El titular de la fuente deberá demostrar que el CEMS de gases sigue los siguientes criterios de ubicación<sup>2</sup>:

a) Los criterios para la instalación y lugar de medición del CEMS son los siguientes:

- La ubicación debe ser en un lugar accesible de la chimenea o ducto, donde las mediciones de concentración del contaminante o tasa de emisión sean directamente representativas – o puedan ser corregidas para ser representativas – de las emisiones totales de la fuente.
- La ubicación debe permitir que el sistema de monitoreo pase la prueba de Exactitud Relativa que se establece en el numeral 6.1.3 de este protocolo.
- Se recomienda una ubicación por lo menos 2 diámetros equivalentes aguas debajo de algún dispositivo de control, del punto más cercano en que se genera la contaminación, u otro punto en el cual pueda ocurrir un cambio en la concentración del contaminante o su tasa de emisión y por lo menos medio

<sup>2</sup> Establecidos en el Performance Specification 2 (PS-2) del Anexo B de la parte 60, volumen 40 del CFR de la US-EPA y/o en la parte 75, volumen 40 del CFR para ubicación del CEMS.

- diámetro equivalente aguas arriba del escape de efluentes o algún dispositivo de control.
- En caso de no seguir la recomendación anterior, el titular de la fuente debe justificar la ubicación establecida.
- b) Los criterios respecto al punto donde se realiza la medición son los siguientes:
- Dentro del área centroidal (área céntrica) de la sección transversal de la chimenea o
  - A no menos de 1 metro desde la pared de la chimenea o ducto.
- c) Los criterios mínimos para el trayecto de medición del CEMS son:
- Totalmente dentro del área interna, limitado por una línea de 1 metro desde la pared de la chimenea o ducto, o
  - Que por lo menos el 70% del trayecto esté dentro del 50% interno del área transversal de la chimenea o ducto, o
  - Esté ubicado céntricamente sobre cualquier parte del área centroidal.

### 5.1.2. UBICACIÓN DEL CEMS DE FLUJO

El titular de la fuente deberá demostrar que el CEMS de flujo sigue los siguientes criterios de ubicación<sup>3</sup>:

- Seleccionar una ubicación mayor o igual que ocho diámetros de chimenea o ducto aguas abajo y dos diámetros aguas arriba desde una perturbación de flujo; o si es necesario, dos diámetros de chimenea o ducto aguas abajo y ½ diámetro de chimenea o ducto aguas arriba desde una perturbación de flujo.
- Seleccionar una ubicación donde no existan condiciones de flujo ciclónico (remolino) o estratificación.

En los casos en que en la fuente no exista un lugar que cumpla los mínimos criterios físicos de instalación o emplazamiento<sup>4</sup>, ya sea en la chimenea o los ductos que sirvan a la unidad, el titular de la fuente podrá proponer a la Superintendencia para su aprobación, un método alternativo para controlar el flujo volumétrico o bien deberá construir una nueva chimenea o modificar la existente para permitir la implementación de un monitor de flujo.

La petición por parte del titular para utilizar un método alternativo de flujo, deberá ser presentada junto al informe previo de validación (indicado en el numeral 4.1 de este protocolo) y deberá contener a lo menos lo siguiente:

- La identificación de la fuente de emisión.
- Descripción de las circunstancias por las cuales los criterios mínimos de implementación no pueden ser cumplidos dentro del ducto o chimenea existente. Esta descripción deberá incluir los diagramas de la fuente, así como también la documentación de los intentos previos de localizar un monitor de flujo.
- Descripción del método alternativo propuesto para el monitoreo de flujo y metodología en que se fundamenta.

La implementación de un monitor de flujo en cualquier ubicación en la chimenea o ducto que sirva a la unidad, debe permitir al monitor poder alcanzar las especificaciones de rendimiento de los ensayos de validación señalados en los numerales 6.1.1 y 6.1.3 de este protocolo.

<sup>3</sup> Establecidos en la parte 75, volumen 40 del CFR y/o en los métodos CH-1 y CH-4.

<sup>4</sup> Según lo dispuesto en el apéndice A de la parte 75, volumen 40 del CFR.

Si un monitor de flujo está instalado en una ubicación que no satisface los criterios físicos de emplazamiento, pero cumple con las especificaciones de funcionamiento de este protocolo, la Superintendencia podrá aceptar su ubicación pese a los requerimientos establecidos, situación que deberá ser consignada en la resolución que aprueba el CEMS.

### 5.1.3. UBICACIÓN DEL CEMS DE MATERIAL PARTICULADO (CEMS-MP)

El titular de la fuente deberá demostrar que el CEMS-MP sigue los siguientes criterios de ubicación<sup>5</sup>:

- La ubicación más representativa de las emisiones de material particulado según lo determinado por el Método de Referencia (Método CH-5), de tal modo que la correlación que se realice entre la respuesta del CEMS-MP y las emisiones determinadas por el Método de Referencia, cumplan con las especificaciones del ensayo de correlación.
- La ubicación debe minimizar los problemas de perturbaciones de flujo, flujo ciclónico y estratificación variable de material particulado (se deberá seguir el método CH-1).

### 5.1.4. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE OPACIDAD (COMS)

El titular de la fuente deberá demostrar que el COMS sigue los siguientes criterios de ubicación<sup>6</sup>:

- a) Los criterios para la instalación y lugar de medición del COMS son:
  - Por lo menos a 4 diámetros de ducto aguas abajo de todo el equipamiento de control de particulado o perturbación de flujo y por lo menos a 2 diámetros de ducto aguas arriba de una perturbación de flujo.
  - Donde no haya presencia de vapor de agua condensado.
  - Accesible a fin de permitir realizar mantenimiento.
- b) Los criterios para la ruta del rayo de luz son:
  - Seleccione una ruta para el rayo de luz que pase a través de la sección centroidal de la chimenea o ducto.
  - Otros requerimientos de ubicación que se establecen en el punto 8.1 del PS-1.

## 5.2. REQUISITOS GENERALES DEL SISTEMA DE TOMA DE MUESTRA DEL CEMS

### 5.2.1. SONDA DE MUESTREO

Según el tipo de sonda, se deberá cumplir con:

- a) Sonda simple:
  - Debe contar al menos con un filtro para la retención de material particulado grueso, ubicado dentro de la chimenea.
  - El filtro debe contar con una placa o vaina deflectora para minimizar la obstrucción de los filtros, desviando el material particulado grueso que viene con la corriente de gas.
  - La sonda debe permitir la difusión de los gases de calibración dentro del espacio entre el deflector y el filtro, desplazando los gases de la chimenea (evitando posibles reacciones del gas de calibración con el material particulado de la

<sup>5</sup> Establecidos en el Performance Specification 11 (PS-11) del anexo B de la parte 60, volumen 40 del CFR de la US-EPA.

<sup>6</sup> Establecidos en el Performance Specification 1 (PS-1) del anexo B de la parte 60, volumen 40 del CFR de la US-EPA.

corriente de gas), para luego, ingresar al sistema de muestreo durante la calibración del sistema.

- La sonda puede incluir un filtro inercial, que corresponde a un diseño de filtro interno que puede actuar como filtrado primario, en reemplazo del filtro del extremo de la sonda o como un filtro secundario para limpiar adicionalmente el material particulado desde la corriente de gas muestreado.

b) Sonda con dilución:

- Deben llevar a cabo la dilución del gas muestreado fuera de la chimenea.

### 5.2.2. LÍNEA DE MUESTREO

La línea de muestreo deberá cumplir con:

- Debe ser calefaccionada hasta el sistema de extracción de humedad, para evitar la condensación de la humedad entrante. La temperatura de calefacción promedio debe ser al menos de 120° C o a una temperatura similar a la de los gases de la chimenea.
- Las líneas de muestreo deben estar hechas de PFA<sup>7</sup> teflón, debido a que es inerte químicamente. Sin embargo, el teflón puede ablandarse a temperaturas sobre 250° C. Si se requieren medir a temperaturas más altas, puede usarse acero inoxidable.
- Deben estar incorporadas en un paquete o umbilical de líneas de muestreo, cables, etc.
- Debe contener la línea de muestreo, líneas de gas de calibración, líneas de aire comprimido para flujo reverso y líneas de poder para cualquier equipo eléctrico en la chimenea.
- Estos componentes deben estar encerrados con una capa de aislamiento, envuelto con un elemento de calefacción y encerrados en una cubierta protectora externa.
- El umbilical debe contar con sensores de temperatura dispuestos a lo largo de la línea de muestreo, para asegurar la temperatura constante.

### 5.2.3. SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA

Se puede considerar cualquiera de los siguientes sistemas:

- Condensador refrigerado.
- Enfriadores termoeléctricos o de efecto Peltier.
- Sistemas con doble condensado.
- Condensador en corriente a chorro o jet.
- Secadores por difusión o permeabilidad selectiva.

### 5.2.4. BOMBAS DE MUESTREO

Entre los tipos de bombas a utilizar, se pueden considerar bombas de diafragma, bomba impulsora o eyector Venturi. Las bombas de muestreo deben cumplir al menos con lo siguiente:

- Deben ser capaz de abastecer de suficiente muestra a los analizadores.
- Deben ser diseñadas para que no exista infiltración de aire ambiente dentro de la corriente de muestra.
- No deben permitir el ingreso de contaminantes a la muestra de gas (Ej: aceites lubricantes, sellantes, etc.).
- Deben ser inmunes al ataque de los gases de chimenea.

<sup>7</sup> PFA: Perfluoroalcóxido o Teflón-PFA.

### 5.2.5. ANALIZADORES

Salvo para los métodos electroanalíticos, los analizadores deben incorporar al menos 4 componentes básicos:

- Fuentes de radiación: pueden ser luz infrarroja, luz visible, luz ultravioleta u otra fuente de radiación con efectividad reconocida.
- Limitadores espectrales: que restrinjan la longitud de onda de la luz a aquellas de interés en el proceso de análisis.
- Componentes ópticos: que direccionen y enfoquen la luz.
- Detectores: que capturen y traduzcan el efecto creado por el gas contaminante en el sistema analítico.

### 5.2.6. CASSETAS

El titular de la fuente debe mantener las condiciones de almacenamiento apropiadas de los analizadores y dataloggers del CEMS dentro de casetas que cumplan al menos los siguientes requisitos:

- Salas de equipos CEMS con sellado contra agua y resistente a la corrosión, de un ancho mínimo ideal de 2,5 metros y una altura mínima ideal de 2,2 metros<sup>8</sup>.
- En un costado exterior de la sala deberá existir el espacio para el alojamiento de los cilindros de gases patrones del CEMS los que deberán estar bajo techo, sobre piso y protegidos con una puerta con reja metálica y cerradura o candado.
- El almacenamiento de los gases patrón, en caso de ubicarse al interior de las casetas, deberá verificar el cumplimiento del Decreto Supremo N° 78 de 2010, del Ministerio de Salud, Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas.
- Deberá contar con un equipo de aire acondicionado, que mantenga la temperatura óptima de funcionamiento del analizador y genere una presión positiva en el interior de la caseta que evite el ingreso de material particulado.
- Un indicador de temperatura, presión y humedad.
- Espacio adecuado que permita el acceso de personal al interior de la caseta para efectos de rescates de información y auditorías.
- Sensores que alerten sobre el escape o fugas de gas, especialmente de aquellos que se caractericen por ser peligrosos para la salud o tengan propiedades inflamables.
- Acceso restringido sólo al personal autorizado.

### 5.3. DETERMINACION DEL VALOR SPAN Y RANGOS DE ESCALA

El titular de la fuente debe establecer y justificar para cada analizador instalado los valores Span y rangos de escala de medición que serán aplicados en el registro de las emisiones de la fuente. Los criterios son<sup>9</sup>:

- Configurar un rango de medición para cada parámetro a un valor lo suficientemente alto para evitar sobrepasar el valor de escala completa y lo suficientemente bajo para asegurar una buena exactitud de medición.
- Demostrar que el rango se ha seleccionado de modo que la mayoría de los datos (>50%) se encuentren entre el 20% y el 80% de la escala completa.
- Se podrán aplicar también los criterios establecidos en el método CH-6C para los casos que lo requieran.

Estos valores se deberán utilizar para las evaluaciones de calibración y de los chequeos de linealidad requeridos en los numerales 6.1.1 y 6.1.2 de este protocolo.

<sup>8</sup> Se recomienda construcción asísmica y con materiales con propiedades aislantes que retarden propagación de llamas, baja emisión de humos y que no generen gases alógenos y cuente con protección a la humedad.

<sup>9</sup> Establecidos en la parte 75, volumen 40 del CFR, apéndice A, punto 2.1.

Los valores del Span y de escala, se deben evaluar a lo menos 1 vez al año. Si se detecta que cualquiera de estos valores ha variado, se deberán realizar los ajustes correspondientes.

#### 5.4. GASES DE CALIBRACIÓN

Para la ejecución de los ensayos de validación se deben utilizar gases patrones tipo "EPA-Protocol" que cuenten con un certificado del fabricante y con una desviación menor o igual a 2%, o algún otro gas que certifique que cumpla con la sección 2.1.8 del documento "EPA TRACEABILITY PROTOCOL FOR ASSAY AND CERTIFICATION OF GASEOUS CALIBRATION STANDARDS".

Para las Entidades de Inspección, no se acepta para los ensayos de validación, el uso de calibradores o dilutores para realizar las calibraciones y verificaciones que establecen los ensayos de los numerales 6.1.1 y 6.1.2. de este protocolo.

Se podrán utilizar cilindros de gases multicomponentes que contengan mezclas de gases, que sean EPA Protocol.

La Superintendencia reconocerá como fecha de vigencia del gas EPA-Protocol aquella estipulada en el certificado adjunto del cilindro de gas emitido.

Para el caso de los parámetros  $O_2$  y  $CO_2$ , se aceptarán cilindros de proveedores nacionales, en cuyo caso deberán contar con su respectivo certificado de calidad emitido por el fabricante y se deberá confirmar su correcta concentración acorde al certificado, previo a su uso. Se sugiere el siguiente procedimiento para asegurar la concentración del gas establecida en el certificado:

- Medir tres veces el gas del cilindro, usando un analizador de gas o CEMS que haya sido validado y calibrado con un gas EPA-Protocol, o bien por medio de un Método de Referencia para medir  $O_2$  ó  $CO_2$ .
- Los resultados de las tres lecturas será promediado. Cada resultado de medición individual deberá estar dentro del 5% del valor promedio de las 3 lecturas medidas en la letra a) anterior.
- En los casos que no se cumpla la condición señalada en la letra b), se descartarán las tres primeras mediciones y se deberán realizar otras 3 mediciones, de las cuales su promedio deberá estar dentro del 5% del valor de concentración establecido en el certificado emitido por el proveedor del cilindro.
- En caso que no se cumpla la condición señalada en la letra c), se podrán realizar otros tres análisis adicionales hasta que el resultado individual de las seis mediciones consecutivas esté dentro del 5% del valor promedio de estas seis mediciones.
- En el caso que se cumpla la condición de la letra d), el valor final de la concentración del gas patrón del cilindro será el valor promedio de las 6 mediciones señaladas en la letra d) anterior, si éste no difiere en más del 15% del valor de concentración inicial establecido en el certificado del cilindro de gas.
- Finalmente, en caso de no cumplir con estos criterios, el cilindro de gas no podrá ser utilizado para efectos de validación de un CEMS.
- La vigencia del cilindro que cumpla con estas especificaciones, será la estipulada en el certificado original.

El material de aire cero, también se podrá utilizar como gas Cero o Span o como material exclusivo de calibración para los analizadores de  $O_2$ , demostrando que no contiene concentraciones de  $SO_2$ ,  $NO_x$  o COT sobre 0,1 ppm, una concentración de CO sobre 1 ppm o una concentración de  $CO_2$  sobre 400 ppm.

Los gases EPA-Protocol no son requeridos para las calibraciones diarias internas, son necesarios solo para los ensayos de validación. Los gases de proveedores de industrias nacionales, con excepción del  $O_2$ , solo podrán ser utilizados una vez que demuestren cumplir con los estándares de calidad "EPA TRACEABILITY PROTOCOL FOR ASSAY AND CERTIFICATION OF GASEOUS CALIBRATION STANDARDS".

## 5.5. ALTERNATIVAS PARA MEDIR HUMEDAD

Para medir el contenido de humedad del gas en la chimenea o ducto se podrá utilizar las siguientes alternativas:

- 1) Usar un método continuo con analizador de humedad (CEMS de Humedad).
- 2) Usar un método continuo con analizador de O<sub>2</sub> (o analizadores) capaces de medir en base húmeda y base seca.
- 3) Usar un valor específico de referencia (por defecto) de humedad del combustible utilizado en el proceso de combustión, obtenido por resultados analíticos que den cuenta del valor de referencia de humedad.
- 4) Usar un valor de referencia para la humedad previa aprobación de la Superintendencia, demostrando que ese valor es constante durante la operación. Se podrá considerar entre otros, valores históricos (de los últimos tres años) obtenidos de mediciones con el Método de Referencia (CH-4) que hayan sido aplicados por una Entidad de Inspección durante mediciones de ensayos de Exactitud Relativa llevados a cabo con anterioridad, las cuales deberán ser acompañadas de las respectivas condiciones operacionales en las que fueron obtenidas o bien considerar la medición actual del valor de humedad obtenida por medio del Método de Referencia respectivo (CH-4) aplicado por una Entidad de Inspección.

De lo anterior, en los casos de no disponer de un CEMS de humedad, el método alternativo de medición indirecta de humedad, mediante analizadores de oxígeno que miden en base seca y en base húmeda, es el más recomendado.

Asimismo el sistema de monitoreo de humedad debe incluir como componente un DAHS automatizado para el registro y reporte tanto del dato crudo (promedio horario en base húmedo y seco de los valores de O<sub>2</sub>) y el valor promedio horario del contenido de humedad del gas de chimenea derivado de estos datos.

El titular de la fuente podrá acogerse al método que resulte más apropiado para medir humedad, para lo cual deberá demostrar que el método seleccionado es el más adecuado, que se respalda con una metodología de referencia y que cumple con las especificaciones de funcionamiento de este protocolo. El método seleccionado para medir la humedad deberá ser informado junto al informe previo de validación

## 6. REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS PARA VALIDACION DE CEMS

### 6.1. VALIDACION DE CEMS DE GASES

Para validar CEMS de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y de parámetros de interés, tales como humedad, flujo y O<sub>2</sub>, el titular de la fuente deberá cumplir para cada parámetro evaluado con los respectivos ensayos de validación que se detallan en los numerales 6.1.1 al 6.1.3 de este protocolo.

La ejecución de los ensayos deberá ser llevado a cabo por una Entidad de Inspección que contrate el titular para dichos efectos.

#### 6.1.1. ENSAYOS DE DESVIACION DE CALIBRACION (DC)

Como primer ensayo de validación para un CEMS de gases y flujo, el titular de la fuente deberá cumplir con el ensayo de la Desviación de la Calibración, en adelante "DC", de acuerdo a lo establecido en la parte 75, volumen 40 del CFR, considerando los siguientes criterios:

- Para la prueba de la DC se deberán utilizar gases patrones de calibración "EPA-Protocol" o "valores de referencia" en los casos que corresponda, en los siguientes niveles:
  - Nivel Cero: 0 al 20% del Span
  - Nivel Alto: 80 al 100% Span.

- Los gases se deben ingresar por la bocanoma de la sonda de muestreo, haciendo pasar el gas de calibración a través de todos los filtros, lavadores, acondicionadores y otros componentes utilizados durante el muestreo normal.
- El tiempo de inyección del gas patrón para cada prueba será hasta que el valor de lectura del CEMS se establezca o se alcance el tiempo de respuesta, lo que ocurra primero. Se considerará un valor estable aquella lectura con un salto menor al 2,0% del valor de Span para 2 minutos (registrándose la última lectura en ese lapso) o bien una lectura con un salto de menos del 6,0% desde la concentración promedio medida, en 6 minutos. Como alternativa, la lectura se considera estable si cambia por no más de 0,5 ppm o 0,2%.
- El parámetro humedad obtenido a partir de un analizador continuo de humedad (CEMS de humedad) queda exento de realizar el ensayo de DC. Sin embargo, en los casos de estimar la humedad en forma indirecta por medio de analizadores continuos de O<sub>2</sub> (capaces de medir oxígeno en base húmeda y base seca), si corresponderá ejecutar este ensayo, debiendo aplicarse y cumplirse para cada analizador (húmedo y seco).
- Los siguientes monitores y rangos están exentos de los requerimientos de la prueba de la DC: los monitores de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y flujo instalados en unidades que califiquen como Peak (previa demostración de su clasificación) y cualquier rango de medición de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> con un valor de Span de 50 ppm o menor.
- Para las unidades Peak, la exención de realizar la prueba de la DC aplica siempre que la unidad continúe cumpliendo con la definición de unidad peak, sin embargo, si al final de un año calendario se determina que se ha perdido el estado de unidad peak, se deberá realizar una prueba de DC en cada monitor instalado en la unidad, no más allá del 31 de diciembre del siguiente año.
- Los resultados de la DC serán aceptables, si ninguno de los resultados de %DC diario arroja valores superiores a las especificaciones de rendimiento aplicables, durante los siete días que dura el ensayo que se señalan en la Tabla N°2.
- El ensayo de la DC, se deberá realizar mientras la fuente se encuentre operando en forma continua, con al menos el 50% de la carga máxima, de esta manera, se debe determinar el %DC una vez al día (a intervalos de al menos 24 horas) durante 7 días consecutivos.
- En los casos que ocurran paradas no programadas de la fuente al inicio del ensayo de DC, no se recomienda la ejecución de la prueba sino hasta que la fuente reanude sus actividades a las condiciones de operación anteriormente señaladas (50% de carga máxima).
- Sólo en los casos en que ocurran paradas no programadas de la fuente durante la ejecución del ensayo, los 7 días consecutivos de operación no necesitarán ser 7 días calendarios consecutivos, los valores de %DC que se hayan alcanzado a registrar antes de la parada de la fuente, se podrán mantener hasta que la planta reanude sus actividades y continuar el ensayo hasta completar los 7 días de DC. No obstante lo anterior, la duración del ensayo de DC no deberá superar las 336 horas desde el inicio hasta el final del ensayo.
- En los casos de eventuales fallas del CEMS durante la ejecución del ensayo, este deberá ser repetido desde el inicio, una vez corregidas las respectivas fallas.

- Para los ajustes periódicos automáticos o manuales que se realizan en el CEMS para cero y alto nivel, deben efectuarse después de registrar el valor de desviación.
- El criterio de ajuste manual sugerido una vez registrado el valor de desviación diario, será si el valor diario del %DC, obtenido para el nivel Cero o el nivel alto (Span) que se registró para el día del ensayo, se encuentra cercano al límite de cumplimiento aplicable según Tabla N°2, se podrá realizar un ajuste al valor de seteo del nivel Cero y/o Span.
- Para el caso del parámetro flujo, no se deben realizar ajustes entre las mediciones de nivel Cero y Span en ninguno de los 7 días de la prueba. Si el monitor de flujo opera dentro de los límites de cumplimiento según Tabla N°2 en cada día y sin requerir mantenimiento correctivo, reparaciones o remplazo durante el periodo de prueba de 7 días, el monitor de flujo pasa la prueba de DC.
- Los "valores de referencia" corresponden por lo general a señales electrónicas que no requieren de certificación y pueden ser proporcionadas por el fabricante del equipo, así por ejemplo, en el caso del parámetro de flujo por ultrasonido, la señal electrónica usada como patrón puede ser obtenida por el fabricante o bien a través de una medición de flujo con el Método de Referencia respectivo y el resultado de esta medición ingresarla como señal electrónica como patrón de referencia.
- Para los monitores de flujo, la señal Cero será de 0 al 20% del valor Span y la señal de nivel alto será del 50 al 70% del valor Span.
- Si el diseño del CEMS no permite hacer posible estas determinaciones a los niveles indicados anteriormente, se permitirá que se realicen en un bajo nivel contemplado entre el Cero y el 20 por ciento del valor de Span y en un valor medio entre 50 y 60 por ciento del valor de Span, siempre que se demuestre que es el nivel más representativo de la concentración de gases.
- Durante la ejecución de este ensayo no se podrán realizar mantenciones programadas o correctivas del sistema.

**Tabla N°2:  
Límites aceptables para el ensayo de Desviación de la Calibración**

Parámetro	Resultados de Desviación de la Calibración
SO <sub>2</sub>	±2,5% del valor de Span utilizando la ecuación 1 ó ≤ 5 ppm cuando el valor de Span es igual o inferior a 200 ppm utilizando la ecuación 2
NO <sub>x</sub>	±2,5% del valor de Span utilizando la ecuación 1 ó ≤ 5 ppm cuando el valor de Span es igual o inferior a 200 ppm utilizando la ecuación 2
O <sub>2</sub>	±0,5 % O <sub>2</sub> utilizando la ecuación 2
CO <sub>2</sub>	±0,5 % O <sub>2</sub> utilizando la ecuación 2
Humedad (*)	±0,5 % de H <sub>2</sub> O utilizando la ecuación 2
Flujo	±3% del valor del Span utilizando la ecuación 1
Tiempo de respuesta	15 minutos

(\*) El valor límite de DC para el parámetro humedad indicado en Tabla N°2 aplica solo para aquellas mediciones indirectas de humedad realizada por medio de monitores o analizadores de O<sub>2</sub> (capaz de medir oxígeno en base seca y base húmeda). Esta prueba se debe aplicar a cada analizador (húmedo y seco).

Nota: Las ecuaciones indicadas en la tabla N° 2 corresponden a las señaladas en el numeral 7.0 de este protocolo.



### 6.1.2. ENSAYO DE ERROR DE LINEALIDAD (EL)

Una vez aprobado el ensayo de la DC, el titular de la fuente deberá continuar con el ensayo de Error de Linealidad, en adelante "EL", de acuerdo a lo establecido en la parte 75, volumen 40 del CFR, considerando los siguientes criterios:

- Se exceptúan de realizar esta prueba, los CEMS de los parámetros humedad, flujo y aquellas fuentes que por sus emisiones posean un CEMS con un rango de medición inferior o igual a 30 ppm.
- La prueba se debe llevar a cabo mientras la fuente esté funcionando en forma continua con al menos el 50% de la carga máxima, inyectando gases de calibración de concentración de niveles bajo, medio y alto, por la bocaneta de la sonda de muestreo.
- Para este ensayo, se considerará como concentración de nivel bajo aquella comprendida entre **20 a 30%** del valor de Span, concentración de nivel medio entre **50 a 60%** del valor de Span y concentración de nivel alto entre **80 a 100%** del valor de Span.
- Se debe operar cada monitor a su temperatura y condiciones normales de funcionamiento. Para los monitores de tipo extractivo y dilución, se debe hacer pasar el gas de calibración a través de la sonda y todos los filtros, lavadores, acondicionadores y otros componentes utilizados durante el muestreo normal. Para los monitores de tipo in-situ, se debe realizar la comprobación de la calibración de todos los componentes activos electrónicos y ópticos, incluyendo el transmisor, receptor y el analizador.
- Los gases de referencia, se deben Ingresar al CEMS, tres veces, procurando de no utilizar el mismo gas dos veces consecutivas, asegurando que la duración de cada prueba de linealidad, desde la hora de la primera inyección a la hora de la última inyección, no exceda 24 horas de funcionamiento.
- Registrar la respuesta del monitor desde el sistema de adquisición de datos y/o sistema de registro. Se debe calcular el %EL, para cada nivel de concentración (bajo, medio y alto) usando el promedio de las respuestas en la ecuación N° 3 señalada en el numeral 7.0 de este protocolo.
- Los resultados del %EL, se deben calcular para cada concentración de gas de calibración y los resultados obtenidos deberán permanecer dentro del rango señalado en la Tabla N°3.
- En caso de existir ajustes periódicos automáticos o manuales, que se realicen en el CEMS, estos deberán efectuarse después de realizar este ensayo. Durante la ejecución de este ensayo no se deben realizar ajustes manuales a los valores de seteo de Cero y Span.

**Tabla N° 3:**  
**Límites aceptables para el ensayo de Error de Linealidad**

Parámetro	Linealidad
SO <sub>2</sub>	±5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm utilizando la ecuación 4
NO <sub>x</sub>	±5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm utilizando la ecuación 4
O <sub>2</sub> (*)	±5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 0,5 % de O <sub>2</sub> utilizando la ecuación 4
CO <sub>2</sub>	±5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 0,5 % de CO <sub>2</sub> utilizando la ecuación 4



(\*)El valor límite de EL para el parámetro O<sub>2</sub> indicado en tabla N°3 incluye monitores o analizadores de O<sub>2</sub> que se utilicen para medir oxígeno en base seca y base húmeda. Esta prueba se debe aplicar a cada analizador (húmedo y seco).

Nota: Las ecuaciones indicadas en la tabla N° 3 corresponden a las señaladas en el numeral 7.0 de este protocolo

### 6.1.3. ENSAYOS DE EXACTITUD RELATIVA (ER)

Una vez aprobado el ensayo de EL, el titular de la fuente deberá continuar con el ensayo de Exactitud Relativa, en adelante "ER", de acuerdo a lo establecido en la parte 75, volumen 40 del CFR, considerando los siguientes criterios:

- El CEMS de SO<sub>2</sub>, podrá quedar exento de cumplir con el ensayo de ER, si la unidad califica como unidad de combustible de muy bajo contenido de azufre, (según lo definido en el numeral 54 del anexo I de este protocolo), previa demostración de ello. La autoridad podrá requerir fundadamente la ejecución de este ensayo en los casos que lo amerite.
- El ensayo de ER, se debe realizar mientras la fuente se encuentre funcionando a más del 50 por ciento de la máxima capacidad de funcionamiento, respecto al consumo de combustibles y/o producción.
- En la eventualidad de que ocurran paradas de planta no programadas después de haber ejecutado alguna(s) corrida(s) de medición bajo el Método de Referencia, se podrá esperar hasta que la fuente reinicie su funcionamiento y continuar con la ejecución del ensayo, no obstante lo anterior, el ensayo de ER deberá ser completado desde su inicio dentro de un plazo de 168 horas de operación de la fuente.
- En casos de que la parada de planta se extienda en el tiempo y no se pueda cumplir con el tiempo estipulado, se podrá requerir a la Superintendencia una prórroga del plazo, el cual no podrá superar finalmente las 2 semanas.
- Para los casos en que la parada de planta ocurra durante la ejecución de una corrida de medición, esta corrida de medición se considerará inválida y deberá ser repetida posterior a la reanudación de la fuente medida.
- Se debe seleccionar el rango de medición, de tal manera que la mayoría de las lecturas, (>50%) obtenidas durante el funcionamiento normal de la fuente, se mantengan entre un 20 y 80 por ciento del valor de Span.
- Para los sistemas de monitoreo con más de un rango de medición, realice la prueba de ER en el rango utilizado normalmente para medir las emisiones. Para las unidades Peak la totalidad del rango de carga se considerará normal.
- Para el ensayo de ER se deberán comparar valores entregados por el sistema de monitoreo continuo de emisiones y valores obtenidos por medio de la aplicación de los respectivos Métodos de Referencia (MR), los cuales se indican en la Tabla N°4.
- Se deben realizar un mínimo 9 corridas de muestras de datos, pudiendo eliminar posteriormente un máximo de 3 muestras siempre que la determinación de ER se realice con un número de muestras igual o mayor que 9, debiendo informar todos los datos, incluso los resultados de aquellas muestras eliminadas.
- La duración de cada corrida de muestreo debe ser de 21 minutos cada una, para los parámetros en donde el Performance Specification (PS)<sup>10</sup> respectivo lo indique, en caso contrario, se deberá adecuar el tiempo de las muestras al

<sup>10</sup> Se podrán consultar los Performance Specification (PS) de la EPA para el parámetro respectivo.

- mínimo tiempo que acepte el Método de Referencia, PS respectivo, o bien requerir la aprobación de parte de la Superintendencia, para aplicar un tiempo de muestreo distinto.
- La distribución de las corridas de medición, deberá proponerlo el titular de la fuente en coordinación con la Entidad de Inspección y establecerlo en el informe previo de validación.
  - Para la selección de las tres corridas de medición a eliminar, no existen criterios oficiales definidos<sup>11</sup>, por lo que estos quedarán a juicio de la respectiva Entidad de Inspección que desarrolla el ensayo.
  - En el reporte de los resultados del ensayo, deberá señalarse el criterio aplicado para la selección de corridas de medición eliminadas en el cálculo final.
  - Se deben considerar los tiempos de respuesta, tanto de la aplicación del Método de Referencia como del CEMS, de manera que ambos sistemas de medición recolecten muestras en el mismo intervalo de tiempo y de esa manera poder hacerlas comparativas.
  - Para determinar el tiempo de respuesta se deberá seguir el procedimiento indicado en el numeral 6.1.4 de este protocolo, el cual deberá ser aplicado diariamente en forma previa a la medición. El tiempo de respuesta también podrá ser obtenido durante la ejecución del ensayo de Desviación de Calibración.
  - Para los analizadores que utilizan componentes comunes para medir más de un parámetro del efluente de gas, todos los canales deben aprobar al mismo tiempo el requisito de ER, a menos que pueda demostrarse que cualquier ajuste realizado a uno de los canales, no afecta a los demás.
  - Para los monitores de flujo, la prueba de ER se debe realizar en tres diferentes velocidades de los gases de escape, bajo, medio y alto, definidas como:
    - Nivel bajo: hasta 30% del rango de operación.
    - Nivel medio: la porción mayor al 30%, pero menor o igual a 60% del rango de operación.
    - Nivel alto: el extremo superior mayor al 60% del rango de operación.
  - En caso de disponer de antecedentes que determinen que no se puede realizar la prueba a los niveles señalados, la Superintendencia podrá autorizar la realización de esta prueba a menos de tres niveles, demostrando que la fuente opera a uno o dos niveles durante la operación normal.
  - Los antecedentes que respalden el punto anterior, deberán ser presentados a la Superintendencia con en conjunto con el informe previo de validación. La información debe considerar como mínimo datos históricos de a lo menos los últimos 3 meses y los perfiles de flujo relacionados con la carga.
  - Se considerarán aceptables los resultados de ER, si los valores son iguales o inferiores a los límites señalados en la Tabla N°4.

<sup>11</sup> No obstante la falta de criterios oficiales para eliminar corridas de medición, se pueden aplicar criterios tales como: (i) Seleccionar aquellas corridas de medición que presenten mayor diferencia absoluta entre los resultados del método de referencia y los obtenidos por el CEMS, (ii) considerar aquellas corridas de medición que presenten mayor dispersión con respecto a su media aritmética, la que entregue mejor resultado de Exactitud Relativa.

**Tabla N°4:  
Límites aceptables para el ensayo de Exactitud Relativa**

Parámetro	Exactitud Relativa	Método de Referencia
SO <sub>2</sub>	<p>≤20% cuando se utiliza el Método de Referencia en el denominador de la ecuación 5 para calcular la Exactitud Relativa (las emisiones promedio durante la prueba son mayores al 50% del estándar de emisiones) ó</p> <p>≤10% cuando el estándar de emisión aplicable es usada como denominador de la ecuación 5 para calcular la Exactitud Relativa. (Las emisiones promedio durante la prueba son menores al 50% del estándar de emisiones) ó</p> <p>≤ 15 ppm cuando el promedio de las mediciones obtenidas por el MR es menor o igual a 250 ppm, utilizando la ecuación 6, donde sea que la especificación de 20 y 10% no se logre.</p>	CH-6C
NO <sub>x</sub>	<p>≤20% cuando se utiliza el Método de Referencia en el denominador de la ecuación 5 para calcular la Exactitud Relativa (las emisiones promedio durante la prueba son mayores al 50% del estándar de emisiones) ó</p> <p>≤10% cuando el estándar de emisión aplicable es usada como denominador de la ecuación 5 para calcular la Exactitud Relativa, (las emisiones promedio durante la prueba son menores al 50% del estándar de emisiones) ó</p> <p>≤ 15 ppm cuando el promedio de las mediciones obtenidas por el MR es menor o igual a 250 ppm, utilizando la ecuación 6, cuando la que la especificación de 20 y 10% no se logre.</p>	CH-7E
O <sub>2</sub>	<p>≤ 10% utilizando la ecuación 5 ó</p> <p>≤ 1% de O<sub>2</sub> utilizando la ecuación 7</p>	CH-3A
CO <sub>2</sub>	<p>≤ 10% utilizando la ecuación 5 ó</p> <p>≤ 1% de O<sub>2</sub> utilizando la ecuación 7</p>	CH-3A
Humedad	<p>≤ 10% utilizando la ecuación 5 ó</p> <p>≤ 1,5% de agua utilizando la ecuación 6</p>	CH-4
Flujo	<p>≤ 20% utilizando el promedio del MR en ecuación 5 ó</p> <p>≤10% en cualquier carga utilizando la ecuación 5 ó</p> <p>≤ ± 0,6 m/s cuando la velocidad es igual o inferior a 3,05 m/s, utilizando la ecuación 6 cuando la que la especificación de 20 y 10% no se logre.</p>	CH-2

(\*) El valor límite de ER para el parámetro humedad indicado en la Tabla N° 4 aplica para aquellas mediciones a partir de un CEMS de humedad y de analizadores de O<sub>2</sub> que miden en base húmeda y seca (para este último caso, la prueba se debe aplicar a cada analizador húmedo y seco).

Nota: Las ecuaciones indicadas en la tabla N° 4 corresponden a las señaladas en el numeral 7.0 de este protocolo.

#### 6.1.4. DETERMINACION DEL TIEMPO DE RESPUESTA

Previo al ensayo de ER, El titular de la fuente deberá realizar y demostrar los resultados de pruebas del tiempo de ciclo o tiempo de respuesta para cada sistema de monitoreo continuo de emisiones según lo establecido en la parte 75, volumen 40 del CFR punto 6.1, considerando los siguientes criterios:

- Determinar el tiempo de respuesta mientras la fuente esté operando (sobre el 50%).



- Se deberán utilizar para esta prueba los gases de calibración (EPA-Protocol) de nivel Cero y nivel alto o Span alternadamente.
- Para sistemas de monitoreo que realicen una serie de operaciones (tales como purga, muestreo y análisis), realice las inyecciones de los gases de calibración de modo que produzcan el máximo tiempo de ciclo posible.
- Se deberá reportar el más largo de los dos tiempos transcurridos determinados (nivel alto y nivel bajo) como el tiempo de ciclo para el analizador (ver ejemplo en Figura N°1 al final de este protocolo).
- Para la prueba del sistema de monitoreo continuo de emisiones de dilutor NO<sub>x</sub> y la prueba del sistema de monitoreo continuo de dilutor SO<sub>2</sub>, registre y reporte el tiempo de ciclo más largo de los dos analizadores como el tiempo de ciclo del sistema.
- Para sistemas de tiempo compartido, el tiempo de respuesta se debe realizar en todas las ubicaciones de sondas que serán monitoreadas dentro del mismo período de 15 minutos, durante las operaciones del sistema de monitoreo.
- Para determinar el tiempo de ciclo para sistemas de tiempo compartido, haga la sumatoria del máximo tiempo de ciclo obtenido en cada ubicación de las sondas. Reporte la sumatoria del tiempo de ciclo más largo en cada una de las ubicaciones de las sondas más la sumatoria del tiempo requerido para todos los ciclos de purga (determinado por el fabricante del sistema de monitoreo continuo) en cada una de las ubicaciones de las sondas, como el tiempo de ciclo para cada uno de los sistemas de tiempo compartido.
- Para monitores con rangos duales, reporte los resultados de prueba dentro de rango, dando el tiempo de ciclo más largo.
- Los resultados de pruebas serán aceptables si ninguno de los tiempos de ciclo sobrepasa los 15 minutos según lo indicado en tabla N° 2.
- Para el caso de los CEMS – MP se aplicarán estos mismos criterios para determinar el tiempo de respuesta, con la diferencia que se utilizarán las respectivas señales electrónicas como patrón de referencia para Cero y escala superior utilizadas en el ensayo de Margen de Error. El límite aplicable del tiempo de respuesta también deberá ser un valor inferior a 15 minutos.

## 6.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFERENCIA (MR)

### 6.2.1. SITIO DE MEDICIÓN

Se deberá seleccionar un sitio de medición para ejecutar el Método de Referencia respectivo, para lo cual el titular de la fuente deberá seguir las especificaciones dispuestas en el respectivo Método de Referencia a aplicar. Para la ubicación se deberá considerar al menos los siguientes criterios:

- Al menos a dos diámetros equivalentes aguas abajo de cualquier dispositivo de control, interferente más cercano u otro punto en el que se pueda producir un cambio en la concentración o la tasa de emisión de contaminantes y,
- Por lo menos medio diámetro equivalente aguas arriba de los gases de escape o de algún dispositivo de control. El sitio de medición del sistema de monitoreo continuo no necesita ser el mismo sitio para el MR.

Para los parámetros flujo y humedad, el sitio de muestreo debe ser seleccionado de acuerdo a las distancias y ubicación especificada en el método CH-1 o CH-1A, según corresponda.

### 6.2.2. PUNTO DE MEDICIÓN

Para asegurar la recolección de una muestra representativa de la sección transversal de la chimenea o ducto, se debe seleccionar los puntos que cumplan como requisito mínimo los siguientes criterios:

- Para los casos de las mediciones de gases que sea aplicable, seleccione puntos transversales que aseguran una adquisición de muestras representativas sobre la sección transversal de la chimenea o ducto, los requisitos mínimos son los siguientes: Establezca una "línea de medición" que atraviese el área centroidal y que vaya en dirección de cualquier estratificación esperada. Si esta línea obstaculiza las mediciones del CEMS, corra esta línea hasta 30 cm (o cinco por ciento del diámetro equivalente de la sección transversal, lo menos posible) del área centroidal. Ubique tres puntos transversales a un 16,7%, 50,0% y 83,3% de la línea de medición.
- Si el diámetro de la chimenea es superior a 2,4 metros, los puntos pueden estar situados a 0,4, 1,2 y 2,0 metros desde la pared de la chimenea o ducto, sólo si antes no existen sistemas de control de emisiones húmedos o en puntos donde se combinan dos flujos con diferentes concentraciones contaminantes.
- Cualquier otra situación respecto del punto de medición, puede aplicar los criterios señalados en la sección 8.1.3. de la Performance Specification 2 (PS-2).

Para flujo y humedad, los puntos de muestreo deben ser calculados aplicando el Método CH-1.

### 6.3. VALIDACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE OPACIDAD

El titular de la fuente, que instale un equipo COMS<sup>12</sup> para medir la opacidad causada por la atenuación de la luz proyectada, por causa de la absorción y dispersión de la luz por acción del material particulado en el efluente de gas, deberá seguir y dar cumplimiento en cuanto a la ubicación de instalación y especificaciones de funcionamiento para la validación dispuestos en el Performance Specification 1 (PS-1) del apéndice B de la parte 60, volumen 40 del CFR, considerando los siguientes criterios:

- El titular de la fuente deberá implementar un monitor de opacidad que cumpla con la metodología "ASTM D 6216-98" y obtener un certificado de conformidad del fabricante del monitor de opacidad.
- Junto con el monitor, el titular de la fuente deberá adquirir un mínimo de 3 atenuadores de calibración (filtros de densidad neutra) los cuales podrán ser del tipo primario o secundario según lo indicado en el PS-1 y que cumplan los requerimientos especificados de esta parte para efectos de su calibración, a fin de permitir realizar las pruebas de calibración que exige el PS-1.
- Los atenuadores deberán contar con su calibración vigente.
- Los COMS se deberán calibrar directamente realizando una comparación gravimétrica de la respuesta del equipo frente al método CH-5. Los resultados deben tener una alta correlación aplicando un ajuste lineal por el método de mínimos cuadrados a fin de poder estimar los valores de emisión de material particulado.

Una vez instalado el COMS, el titular de la fuente deberá cumplir con las "Pruebas de funcionamiento y auditoría de campo" y cumplir con un "Periodo de prueba operacional" (en ese orden) de acuerdo a lo establecido en el PS-1 a fin de determinar la aceptabilidad o validación del COMS considerando las siguientes condiciones:

<sup>12</sup> Acrónimo – en inglés – de Continuous Opacity Monitoring Systems.

- 1) **Pruebas de funcionamiento y auditorías de campo:** Se deberán cumplir los siguientes ensayos:
  - a) **Evaluación de alineación óptica:** comprobar y registrar que todos los dispositivos de indicación de alineación muestren una alineación apropiada.
  - b) **Chequeo de Error de Calibración:** de acuerdo a lo establecido en el PS-1, en tres puntos o niveles (bajo, medio y alto nivel), utilizando para ello los atenuadores o filtros adquiridos los que deberán contar con su respectiva calibración vigente. Se debe:
    - Confirmar que el dispositivo de auditoría externa, produzca el valor de Cero apropiado en el registrador de datos del COMS.
    - Realizar un total de 5 lecturas no consecutivas para cada atenuador.
    - Al final de la prueba, se deberá correlacionar cada inserción del atenuador con el valor correspondiente del registrador de datos.
    - Calcular la diferencia media aritmética, la desviación estándar y el coeficiente de confianza de las 5 mediciones, utilizando las respectivas ecuaciones indicadas en el PS-1.
    - Calcular el Error de Calibración como la suma del valor absoluto de la diferencia media y el coeficiente de confianza del 95% para cada uno de los tres atenuadores de prueba utilizando las respectivas ecuaciones indicadas en el PS-1.
    - Reportar los resultados de las pruebas de error de calibración para cada uno de los 3 atenuadores.
    - El error de calibración debe ser menor a 3% de opacidad para cada uno de los tres atenuadores.
  - c) **Chequeo del tiempo de respuesta del Sistema:** El titular de la fuente deberá cumplir y demostrar los resultados que den cuenta del chequeo del tiempo de respuesta de acuerdo a lo establecido en el PS-1, utilizando para ello el atenuador de alto y bajo nivel, insertándose en forma alternativa 5 veces. Se debe:
    - Para cada inserción y extracción del filtro, medir la cantidad de tiempo requerida para que el COMS indique el 95 por ciento de cambio de un paso en la opacidad del registrador de datos del COMS.
    - Para el tiempo de respuesta de máximo de escala, medir el tiempo desde la inserción para indicar el 95 por ciento de la lectura final y estable de máximo de escala.
    - Para el tiempo de respuesta de mínimo de escala, medir el tiempo desde la extracción hasta indicar el 5 por ciento de la lectura inicial de máximo de escala.
    - Calcular la media de las cinco mediciones de tiempo de respuesta de máximo de escala y la media de las cinco mediciones de tiempo de respuesta de mínimo de escala.
    - Reportar el tiempo de respuesta de máximo de escala y de mínimo de escala.
    - Los tiempos de respuesta de nivel alto y nivel bajo deberán ser menor o igual a 10 segundos medidos desde el registrador de datos del COMS.
  - d) **Cálculo de período de promedio y chequeo de registros:** Luego del chequeo de error de calibración, el titular de la fuente deberá cumplir y demostrar los resultados que den cuenta del cálculo del período de promedio de acuerdo a lo establecido en el PS-1.
- 2) **Período de prueba operacional:** Después de desarrollar los ensayos anteriormente mencionados, el titular de la fuente deberá operar el COMS por un período de prueba inicial de 168 horas (7 días) bajo condiciones normales de operación y deberá cumplir

y demostrar los resultados que den cuenta de los siguientes ensayos de acuerdo a lo establecido en el PS-1:

- a) Prueba de Desviación de Calibración de Cero
- b) Prueba de Desviación de Calibración de Span

Si las operaciones normales contienen paradas rutinarias de la fuente, se deberán incluir los periodos de parada de la fuente en la prueba operacional de 168 horas.

Al final del periodo de 168 horas y para ambos casos, calcular la media aritmética, desviación estándar y coeficiente de confianza de las desviaciones en 24 horas utilizando las ecuaciones 1-3, 1-4 y 1-5 del PS-1. Calcule la suma del valor absoluto de la media y el valor absoluto del coeficiente de confianza utilizando la ecuación 1-6 del PS-1, y reporte este valor como el error de DC en 24 horas.

En caso de un COMS que mida Opacidad y concentración de Material Particulado y que entregue resultados en % de Opacidad y en unidades de  $\text{mg}/\text{m}^3$  y/o  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  de Material Particulado, el titular de la fuente deberá además dar cumplimiento al PS-11 según lo establecido en el numeral 6.4 de este protocolo.

Algunas unidades pueden calificar para quedar exentas de los requisitos de monitoreo de opacidad según como se indica a continuación.

- 1) Unidades a carbón con lavadores húmedos de gases, pueden quedar exentas de los requerimientos de monitoreo de opacidad si se demuestra que la presencia de agua condensada en la corriente del gas de efluente interfiere con las lecturas de la opacidad e impide tener medidas exactas de opacidad.
- 2) Unidades que cumplan con la definición de unidad dual petróleo - gas (según lo definido en el numeral 58 del anexo I de este protocolo) basándose en información histórica pueden quedar exentas de los requerimientos de monitoreo de opacidad. No obstante cuando una unidad previamente categorizada como unidad dual petróleo - gas cambia su categoría a otro tipo por un cambio en la mezcla del combustible, el titular deberá instalar, operar y validar un sistema de monitoreo continuo de opacidad, debiendo dar cumplimiento al PS-1 dentro del plazo de 1 año desde su recategorización.
- 3) Unidades que tengan instalado un sistema de monitoreo continuo de material particulado (CEMS de MP) validado según el numeral 6.4 de este protocolo.

Estas exenciones pueden quedar sujetas a los requerimientos o disposiciones que establezca la Superintendencia en cuanto a cualquier regulación aplicable que requiera que un monitor de opacidad sea instalado y validado.

#### 6.4. VALIDACION DE CEMS DE MATERIAL PARTICULADO

El titular de la fuente, que instale un Sistema de Monitoreo Continuo de Material Particulado (CEMS-MP) deberá seguir y cumplir las especificaciones de funcionamiento para la validación del CEMS-MP establecidas en el Performance Specification 11 (PS-11) del apéndice B de la parte 60, volumen 40 del CFR.

##### 6.4.1. ENSAYOS DE MARGEN DE ERROR (ME)

El titular de la fuente deberá cumplir y demostrar los resultados que den cuenta del Ensayo de Margen de Error de 7 días de duración, en adelante "ME", considerando los siguientes criterios:

- El ME debe ser ejecutado mientras la fuente esté operando normalmente, una vez al día por 7 días consecutivos (intervalos de 24 horas), en forma manual o preferiblemente en forma automática. (El CEMS-MP debe ser

capaz de cuantificar y registrar las mediciones en Cero y en escala superior y el tiempo de las mediciones).

- El valor de referencia para determinar el error de escala superior, deberá ser capaz de producir una respuesta entre 50 y 100% del rango de respuesta del CEMS-MP.
- Para el chequeo del ME en Cero, deberá producirse una respuesta entre 0 y 20%, del rango de respuesta del CEMS-MP. Cualquier ajuste a ser realizado a los valores de seteo de nivel Cero y en escala superior, deberá hacerse posterior a la realización de los ensayos, para así verificar el margen de los errores.
- Se podrá ajustar diariamente a los valores de seteo (Cero y Span) cada vez que el valor de % ME sea cercano al valor límite de cumplimiento establecido del 2%. No obstante, el valor entregado por el CEMS-MP previo a la realización del ajuste debe ser registrado.
- Para aquellos CEMS-MP que producen una salida sobre un rango de 4 a 20 mA, el valor de chequeo de escala superior debe producir una respuesta en el rango de 12 a 20 mA (se debe obtener documentación para el valor de chequeo en Cero y escala superior del fabricante del CEMS-MP).
- Si el CEMS-MP empleado, es de tipo extractivo y mide el volumen de muestra para obtener el resultado final, el equipo deberá ser capaz de ejecutar el chequeo del volumen de muestra, con el fin de verificar la precisión del equipo de medición del volumen, este chequeo debe ejecutarse diariamente a la tasa de muestreo normal del CEMS-MP según el PS-11.
- Los valores de referencia para el nivel Cero, escala superior y el chequeo de volumen de muestra en la obtención de material particulado a través de la correlación, deberán ser documentados por el fabricante del equipo de medición, pudiendo ser no certificado.
- Para los casos en que no se disponga de un valor de escala superior, se podrá tomar como referencia una medición discreta de CH-5 realizada por una Entidad de Inspección, cuyo resultado podrá ser incorporado como señal electrónica al CEMS-MP.
- Los límites para el cumplimiento de chequeos de margen de error diario promedio del CEMS-MP, no podrán desviarse del valor estándar de referencia, en más del 2% del valor de escala superior, para obtener los valores de los chequeos, deberá emplearse las ecuaciones 8 y 9, debiendo entregar los resultados según Tabla N°5:

**Tabla N°5:**  
**Datos de ensayo margen de error de 7 días para CEMS-MP.**

Margen de error en cero, día N°	Fecha y hora	Valor de chequeo en cero ( $R_L$ )	Respuesta CEMS MP ( $R_{CEM}$ )	Diferencia ( $R_{CEM} - R_L$ )	Margen de error en cero $\left(\frac{R_{CEM} - R_L}{R_U}\right) * 100$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
Margen	Fecha	Valor de	Respuesta	Diferencia	Margen de error en cero



de error en cero, día N°	y hora	chequeo en escala superior ( $R_U$ )	CEMS MP ( $R_{CEM}$ )	( $R_{CEM} - R_U$ )	$\left(\frac{R_{CEM} - R_U}{R_U}\right) * 100$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

En casos que el CEMS-MP disponga de equipos auxiliares, como dilutores o medidores de presión, temperatura y/o humedad, necesarios para determinar las condiciones de medición del CEMS-MP, los chequeos de margen de error deben determinarse separadamente para cada equipo en términos de su respectiva salida, debiendo cumplir cada equipo con los límites de margen de error de 2% especificado individualmente.

#### 6.4.2. ENSAYOS DE CORRELACION

Una vez aprobado el ensayo de ME, el titular de la fuente deberá cumplir y demostrar los resultados que den cuenta de los ensayos de correlación de acuerdo a lo establecido en el PS-11. Para lo cual debe realizar los siguientes modelos de correlación pre-establecidos, para ajustar los valores obtenidos por los equipos: Lineal, Polinomial, Logarítmico, Exponencial y de Potencia, considerando los siguientes criterios:

- Se deberán realizar suficientes ensayos y recoger al menos 15 pares de datos (corridas de medición) del Método de Referencia y del CEMS-MP.
- Es posible descartar hasta 5 series de datos sin justificación, siempre que se obtengan al final, como mínimo, un total de 15 ensayos para el desarrollo de la correlación. (No obstante el titular deberá informar aquellas corridas de medición descartadas).
- El Método de Referencia a ser utilizado corresponde al método CH-5 y si fuera necesario emplear otros métodos para determinar las especificaciones de funcionamiento, se deberá recurrir a los métodos CH-1, CH-2, CH-3, CH-4 y otros que estén debidamente autorizados.
- Es recomendable emplear series pareadas para el Método de Referencia, es decir, 2 muestras por corrida.
- Durante cada ensayo se deben coordinar las operaciones de proceso, muestreo del Método de Referencia y la operación de CEMS-MP, procurando que ambas series del Método de Referencia estén muestreando simultáneamente.
- Se debe coordinar, para los muestreos con el Método de Referencia y la operación del CEMS-MP, las partidas y paradas, para el caso de muestreo por lotes, el Método de Referencia debe partir al mismo tiempo que el CEMS-MP.
- Se debe coordinar y registrar los tiempos para los cambio de puerto u otro período en que el muestreo de referencia se encuentre detenido, con el fin de tomar acciones sobre los datos del CEMS-MP, ajustándolos si fuera necesario.
- Se deberá alinear los períodos de tiempo para el CEMS-MP y el Método de Referencia, con el fin de tomar en cuenta el tiempo de respuesta de CEMS-MP.



- Se debe documentar y mantener el tiempo de respuesta y cualquier cambio de este con posterioridad a la implementación. El tiempo de respuesta el cual es equivalente al tiempo de ciclo para los equipos de muestreo por lote, no debe ser mayor que 15 minutos.
- Las muestras deben ser obtenidas considerando al menos, el 20% de las 15 muestras mínimas, en tres niveles, nivel de concentración cero, nivel de concentración medio y nivel de concentración máxima, los que corresponden a valores entre 0-50, 25-75 y 50-100 por ciento, referidas al valor de máxima concentración de material particulado, se debe intentar obtener los tres niveles de concentración de masa de material particulado, variando las condiciones de operación del proceso, variando las condiciones del dispositivo de control de MP o utilizando adición controlada de MP (spiking), sólo es posible emplear datos individuales a cada nivel, aun cuando los niveles se traslapen.
- En caso de no ser posible obtener los tres niveles anteriores, se deben realizar los ensayos de correlación en el máximo rango de concentración de material particulado que sea práctico para el CEMS-MP y así asegurar que el rango del equipo sea el máximo. Se deberá seguir el siguiente procedimiento:
  - Para instrumentos in-situ, los datos en punto cero, se deberían obtener, en lo posible, quitando el instrumento de la chimenea y monitoreando el aire ambiente en una plataforma de ensayo.
  - Para instrumentos extractivos, los datos en punto cero, se deberán obtener quitando la sonda de la chimenea y apartándola a un ambiente de aire limpio.
  - También, los datos de punto cero, pueden ser obtenidos con el equipo a medir en no operación productiva, sólo con los extractores operando.
  - Si no fuera posible lo anterior, se deberá estimar la respuesta del monitor cuando no hay material particulado en el gas de emisión, por ejemplo  $4 \text{ mA} = 0 \text{ mg/Nm}^3$ .
- Los resultados obtenidos a partir del Método de Referencia, deben ser convertidos a las mismas unidades y condiciones en que el CEMS-MP entrega los resultados, respecto a temperaturas, humedad, presión, condiciones de flujo reales o no, etc.
- Una vez obtenidos los datos de correlación entre el Método de Referencia y el CEMS-MP, se deberá reportar:
  - Los coeficientes de correlación obtenidos, intervalo de confianza e intervalo de tolerancia.
  - Las hojas de datos, cálculo, registros de respuestas del CEMS-MP.
  - Las hojas de registro de datos de proceso, que incluyan los parámetros de operación del control de material particulado.
  - Certificaciones de medios de referencia necesarios del CEMS-MP, para verificar que se cumplió con los requerimientos de funcionamiento.
  - La salida integrada (promedio aritmético), del CEMS-MP, en cada período de ensayo del Método de Referencia.
  - El ajuste de los datos de salidas del CEMS-MP y los datos del ensayo del Método de Referencia al mismo tiempo de reloj, considerando el tiempo de respuesta del CEMS-MP.
  - La consistencia de los resultados del Método de Referencia, con las respuestas del CEMS-MP, respecto de la aplicabilidad, humedad, temperatura, presión y razón de dilución (si aplica).

- Determinar si cualquiera de los resultados del ensayo del Método de Referencia, no cumplen los criterios del método de ensayo.
- Para calcular las concentraciones de material particulado a partir de las respuestas del CEMS-MP, se debe usar el método de mínimos cuadrados (MC). Al realizar los cálculos, cada medición de concentración de material particulado del Método de Referencia, debe ser tratado como un punto de datos discreto, para los casos que usan series de muestras pareadas, no promediar los pares de datos del Método de Referencia para cualquier ejecución de un ensayo.

Para cada modelo desarrollado, según los datos obtenidos del CEMS-MP y de los muestreos de referencia, se deberá determinar la mejor curva del modelo a ser utilizado para ello se dispondrá de 4 criterios:

- a) Comparar los porcentajes del rango medio del intervalo de confianza, tolerancia y el coeficiente de correlación, según los criterios de funcionamiento, consistentes con las unidades de medición, humedad, temperatura, de operación, etc., convirtiendo las unidades de medición del Método de Referencia a las unidades de medición del CEMS-MP. Contemplar la exclusión de datos erróneos justificadamente y el volumen medido, si correspondiera. Para usar el modelo Polinomial se deben tener en consideración otros aspectos que establece el PS-11.
- b) Se debe optar a la curva con mayor coeficiente de correlación, si fuera posible y se desarrollará más de una curva, teniendo cuidado de verificar otros aspectos en caso de probar con el modelo Polinomial.
- c) En un modelo Polinomial, se deberá determinar la ocurrencia de máximos y mínimos, si el valor mínimo de la curva de correlación es menor o igual al valor mínimo de la respuesta del CEMS-MP, es posible utilizar el modelo Polinomial, aplicado en conjunto con el cumplimiento de lo indicado en las letras a) y b), en caso contrario no. Si la curva de correlación Polinomial, tiene un máximo, el máximo valor debe ser superior al límite de extrapolación permitido para ser empleado como modelo admisible, este criterio se debe aplicar en conjunto con los criterios indicados en las letras a) y b).
- d) El titular podrá proponer a la Superintendencia para su aprobación, soluciones alternativas, que se sustenten con alguna metodología de referencia.

#### 6.4.3. MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS RECOLECTADOS DEL CEMS-MP

Para el manejo y tratamiento de las corridas de medición recolectadas a través del Método de Referencia y el CEMS-MP, se deberá utilizar la planilla de cálculo de correlaciones y QA elaborada por la EPA, "PS-11 CT calcs-ver2-6.xls"<sup>13</sup>, la cual incorpora todos los cálculos definidos para evaluar y determinar la mejor correlación en base a los datos recolectados. La planilla de cálculo estará disponible en el sitio web de la Superintendencia.

#### 6.4.4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA CORRELACIÓN

El titular de la fuente, deberá demostrar la aceptabilidad de la correlación que haya seleccionado para representar los datos de emisión bajo los siguientes criterios:

- Cualquiera sea la correlación seleccionada para representar los datos de la emisión, deberá cumplir con un coeficiente de correlación mínimo de **0,85** para fuentes de emisión alta, esto es, fuentes que superan el valor del 50% de la norma, meta de emisión o emisión anual permitida.

<sup>13</sup> Desarrollada por el Sr. Dan Bivins, experto, Emission Measurement Center, US-EPA.

- Para fuentes de baja emisión, esto es que cumplen la norma con holgura, bajo el 50% de la norma, meta de emisión o emisión anual permitida, el coeficiente de correlación debe ser, al menos de **0,75**.

El rango medio del **intervalo de confianza**, debe cumplir con los siguientes criterios:

- **Para correlaciones Lineales o Logarítmicas:** El rango medio del intervalo de confianza del 95%, al valor de respuesta medio del CEMS-MP del ensayo de correlación, debe estar dentro del **10%** del valor límite de emisión de MP especificado en la regulación aplicable. Además el %CI usando la ecuación N°20 de este protocolo debe ser menor que o igual a **10%**.
- **Para correlaciones Polinomiales:** El rango medio del intervalo de confianza del 95%, al valor de respuesta medio del CEMS-MP del ensayo de correlación que corresponda al valor mínimo para Delta ( $\Delta$ ), debe estar dentro del **10%** del valor límite de emisión de MP especificado en la regulación aplicable. Además, el %CI usando la ecuación N° 40 de este protocolo debe ser menor o igual a **10%**.
- **Para correlaciones Exponenciales o de Potencia:** El rango medio del intervalo de confianza del 95%, al valor de respuesta mediano del CEMS-MP del ensayo de correlación, debe estar dentro del **10%** del valor límite de emisión de MP especificado en la regulación aplicable. Además, el %CI usando la ecuación N° 20 de este protocolo, debe ser menor o igual a **10%**.

El rango medio del **intervalo de tolerancia**, debe cumplir con los siguientes criterios:

- **Para correlaciones Lineales o Logarítmicas:** El rango medio del intervalo de tolerancia al valor medio de respuesta del CEMS-MP, del ensayo de correlación, debe tener un 95% de confianza de que el 75% de todos los posibles valores está dentro del **25%** del valor límite de emisión de MP especificado en la regulación aplicable. Además, el T1% usando la ecuación N°23 de este protocolo, debe ser menor que o igual a **25%**.
- **Para correlaciones Polinomiales:** El rango medio del intervalo de tolerancia al valor de respuesta del CEMS-MP del ensayo de correlación correspondiente al valor mínimo para Delta ( $\Delta$ ), debe tener un 95% de confianza de que el 75% de todos los posibles valores está dentro del **25%** del valor límite de emisión de MP especificado en la regulación aplicable. Además, el T1% usando la ecuación N° 44 de este protocolo, debe ser menor que o igual a **25%**.
- **Para las correlaciones exponenciales o potencia,** El rango medio de intervalo de tolerancia del 95% de confianza y 75 por ciento de cobertura al valor medio del logaritmo de valores de respuesta del CEMS-MP para la prueba de correlación deben estar dentro de **25%** por ciento del valor límite de emisión PM especificado en la regulación aplicable. además, el %Ti usando la ecuación 23 debe ser menor que o igual a **25%**.

Para el caso del porcentaje de tolerancia del rango medio, los criterios son similares a los del intervalo de confianza, considerando que el 75% de los valores posibles deben estar dentro del 25%.

#### 6.4.5. EXTRAPOLACIÓN DE LA CORRELACIÓN

Los datos que se recogen durante los ensayos de correlación, debieran ser representativos del rango total de condiciones de operación normales en la fuente. Se deberán realizar ensayos de correlación adicionales si alguna de las siguientes condiciones ocurre:



- a) **Si la fuente es de baja emisión** (según lo definido en el numeral 23 del anexo I de este protocolo), se deberán realizar ensayos de correlación adicionales, mientras la fuente opera bajo condiciones normales:
- Si la fuente genera respuestas promedio del CEMS-MP durante 24 horas consecutivas **superiores al 125% de la más alta respuesta del CEMS-MP**, (ejemplo, lectura en mA) usada para la curva de correlación o son mayores que la respuesta del CEMS-MP correspondiente al **50% del límite de emisión**, lo que sea mayor, ó
  - Si las respuestas promedio del CEMS-MP acumulativas de periodos de una hora generadas por la fuente son **superiores al 125% de la respuesta más alta del CEMS-MP** usada para la curva de correlación o son superiores que la respuesta del CEMS-MP que corresponde al **50% del límite de emisión**, lo que sea mayor por más del 5% de las horas de operación de su CEMS-MP durante el periodo de 30 días previos.
- b) **Si la fuente no es de baja emisión**, se deberán realizar ensayos de correlación adicionales si cualquiera de los eventos siguientes ocurre mientras la fuente está operando bajo condiciones normales.
- Si la fuente genera respuestas promedio del CEMS-MP durante 24 horas consecutivas, **superiores al 125% de la más alta respuesta del CEMS-MP** (ejemplo, lectura en mA) usada para la curva de correlación, o
  - Si las respuestas promedio del CEMS-MP acumulativas de periodos de una hora generadas por la fuente son **superiores al 125% de la respuesta más alta del CEMS-MP** usada para la curva de correlación, por más del 5% de las horas de operación de su CEMS-MP durante el periodo de 30 días previo.
  - De lo anterior, si se requieren ensayos de correlación adicionales, se deben realizar **al menos tres de estos, bajo las condiciones que causaron la respuesta elevada del CEMS-MP**.
  - Se debe completar los ensayos adicionales y usar los nuevos datos resultantes en conjunto con los datos anteriores para calcular una ecuación de correlación revisada dentro de 60 días después de la ocurrencia del evento que requiere de ensayos adicionales.
  - Finalmente si la fuente genera respuestas cada 1 hora consecutivas, superiores al 125% de la más alta respuesta del CEMS-MP usada para desarrollar la curva de correlación por 24 horas o por un periodo acumulativo que supere el 5% de las horas de operación del CEMS-MP para los 30 días previos, se debe reportar la razón para las respuestas elevadas del CEMS-MP.

## 7. FORMULAS APLICABLES

### 7.1. ENSAYOS DE VALIDACION CEMS DE GASES (DC, EL Y ER)

Las ecuaciones necesarias para la ejecución de los ensayos señalados en los numerales 6.1.1., 6.1.2 y 6.1.3 serán las que se señalan a continuación.

Siendo:

DC: Porcentaje de Desviación de la Calibración

R: Valor del Gas de Referencia para Cero o Alto Nivel

A: Respuesta del CEMS al gas de calibración (o promedio de respuesta en el caso de la linealidad)



**S:** Valor del Span del Instrumento  
**EL:** Error de Linealidad  
**ER:** Exactitud relativa  
**RCEM:** Respuesta del Sistema de Monitoreo Continuo  
**MR:** Respuestas del Método de Referencia  
**n:** Número de puntos de datos (corridas)  
**d:** Media aritmética de las diferencias

**Ecuación 1**

$$DC = \frac{|R - A|}{S} * 100$$

**Ecuación 2**

$$DC = |R - A|$$

**Ecuación 3**

$$EL = \frac{|R - A|}{R} * 100$$

**Ecuación 4**

$$EL = |R - A|$$

**Ecuación 5**

$$ER = \frac{(|\bar{d}| + |CC|)}{MR} * 100$$

**Dónde:**

$t_{0,025}$  = coeficiente de la distribución t (Student) según la tabla N° 6 de coeficiente de confianza para  $t_{0,025}$

$$di = MRi - RCEMi$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n di$$

$$CC = t_{0,025} \frac{Sd}{\sqrt{n}}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n di^2 - \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n di)^2}{n} \right]}{n - 1}}$$

**Tabla N°6:**  
**Coeficiente de Confianza para  $t_{0,025}$**

n-1	$t_{0,025}$	n-1	$t_{0,025}$
8	2,306	14	2,145
9	2,262	15	2,131
10	2,228	16	2,120
11	2,201	17	2,110
12	2,179	18	2,101
13	2,160	19	2,093



**Ecuación 6**

$$ER = |\overline{RCEM} - \overline{MR}|$$

**Ecuación 7**

$$ER = |\bar{d}|$$

**7.2. ENSAYOS DE VALIDACION CEMS-MP (ME Y CORRELACIONES)**

**7.2.1. MARGEN DE ERROR EN ESCALA SUPERIOR (ES)**

**Ecuación 8**

$$ES = \left| \frac{R_{CEM} - R_U}{R_U} \right| * 100$$

**Dónde:**

$R_{CEM}$  = Respuesta del CEMS-MP al estándar de referencia de escala superior.

$R_U$  = Valor numérico preestablecido del estándar de referencia de escala superior.

**7.2.2. MARGEN DE ERROR EN CERO (EC)**

**Ecuación 9**

$$EC = \left| \frac{R_{CEM} - R_L}{R_U} \right| * 100$$

**Dónde:**

$R_{CEM}$  = Respuesta del CEMS-MP al estándar de referencia en Cero.

$R_L$  = Valor numérico preestablecido del estándar de referencia en Cero.

$R_U$  = Valor numérico preestablecido del estándar de referencia de escala superior.

**7.3. ENSAYOS DE CORRELACIONES**

Para calcular los máximos y mínimos de una ecuación Polinomial se utiliza:

**Ecuación 10**

$$\text{Máximo o mínimo} = - \frac{b_1}{2 * b_2}$$

Para estimar las concentraciones de material particulado a partir de las respuestas de CEMS-MP se deberá emplear el método de los mínimos cuadrados. Para realizar los cálculos, cada medición de concentración de material particulado del Método de Referencia, CH-5, debe ser tratado como un punto de datos discreto, en caso de realizar mediciones pareadas del Método de Referencia, deberán ser tratadas en forma separada.

A continuación, se describen los procedimientos para desarrollar cinco modelos de correlación, a saber: **Lineal, Polinomial, Logarítmico, Exponencial y de Potencia.**

**7.3.1. CORRELACIÓN LINEAL**

Para calcularla se deberán seguir las siguientes ecuaciones:

Calcular la ecuación lineal de correlación en la forma de la ecuación 11, donde ( $\hat{y}$ ) representa la concentración estimada de material particulado, como una función de la respuesta del CEMS-MP ( $x$ ), como sigue:

**Ecuación 11**

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x$$

**Donde:**

$\hat{y}$  = Concentración estimada de material particulado.

$b_0$  = Intercepto para la curva de correlación, calculado según ecuación 12.

$b_1$  = Pendiente de la curva de correlación, calculado según ecuación 15.

$x$  = Valor de respuesta del CEMS-MP.

Considerando:

**Ecuación 12**

$$b_0 = \bar{y} - b_1 * \bar{x}$$

**Donde:**

$\bar{x}$  = Promedio de las respuestas del CEMS-MP según ecuación 13.

$\bar{y}$  = Promedio de los valores de material particulado según ecuación 14.

**Ecuación 13**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

**Ecuación 14**

$$\bar{y} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n y_i$$

**Donde [para Ecuaciones 13 y 14]:**

$x_i$  = Valor de respuesta del CEMS-MP para el ensayo  $i$ .

$y_i$  = Valor de concentración de material particulado para el ensayo  $i$ .

$n$  = Número de puntos de datos.

Se debe calcular el valor de  $b_1$ , de acuerdo a:

**Ecuación 15**

$$b_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

**Donde:**

$S_{xx}$  y  $S_{xy}$  se calculan de acuerdo a las ecuaciones 16 y 17, respectivamente, según:

**Ecuación 16**

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

**Ecuación 17**

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}))$$

Para determinar el rango medio del intervalo de confianza del 95% (IC) para la concentración estimada de material particulado ( $\bar{y}$ ), al valor medio de ( $x$ ), se empleará la ecuación 18, de acuerdo a:

**Ecuación 18**

$$IC = t_{df, 1-a/2} * S_L * \sqrt{\frac{1}{n}}$$

**Donde:**

IC = Rango medio para el intervalo de confianza de 95% para el valor medio de (X).

$t_{df, 1-a/2}$  = Valor para t estadístico entregado en la Tabla N° 8, para  $df = n-2$

$S_L$  = La dispersión o desviación de los valores de  $\hat{y}$  alrededor de la curva de correlación, el que se calcula según ecuación 19.

**Ecuación 19**

$$S_L = \sqrt{\frac{1}{n-2} * \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Para determinar el porcentaje del intervalo de confianza de 95%, respecto al cumplimiento, se deberá utilizar la ecuación 20, de acuerdo a:

**Ecuación 20**

$$IC\% = \frac{IC}{LE} * 100\%$$

**Donde:**

IC = Rango medio para el intervalo de confianza de 95% para el valor medio de X.

LE = Límite de emisión de material particulado, según la normativa vigente.

Para determinar el rango medio del intervalo de tolerancia (IT) al valor medio de (X), se debe emplear la ecuación 21, de acuerdo a:

**Ecuación 21**

$$IT = kt * SL$$

**Donde:**

IT = Rango medio del intervalo de tolerancia al valor medio de (X).

$k = t$  calculado según ecuación 22

$S = L$  calculado según ecuación 19

**Ecuación 22**

$$k_t = u_{n'} * v_{df}$$

**Considerando:**

$n'$  = El número de ensayos ( $n$ )

$u_{n'}$  = Factor de tolerancia para el 75%, dado en la Tabla N° 8.

$v_{df}$  = valor de la Tabla N° 8 para  $df = n-2$

Para determinar el valor medio del Intervalo de Tolerancia, al valor medio de X, como porcentaje respecto al cumplimiento, se deberá utilizar la ecuación 23, de acuerdo a:



**Ecuación 23**

$$IT\% = \frac{IT}{LE} * 100\%$$

**Donde:**

IT = Rango medio del intervalo de tolerancia al valor medio de (X).

LE = Límite de emisión de material particulado, según la normativa vigente.

Para determinar el coeficiente de correlación lineal, se debe emplear la ecuación 24, según:

**Ecuación 24**

$$r = \sqrt{1 - \frac{S_L^2}{S_y^2}}$$

**Donde:**

$S_L$  = Calculado según ecuación 19

$S_y$  = Calculado según ecuación 25

Considerando:

**Ecuación 25**

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

**7.3.2. CORRELACIÓN POLINOMIAL**

Para calcularla se deberán seguir las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 26**

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x + b_2 * x^2$$

**Donde:**

$\hat{y}$  = concentración estimada de material particulado dada por la ecuación de correlación.

$x$  = Valor de respuesta del CEMS – MP

$b_0, b_1, b_2$  = Coeficientes determinados de la solución a la ecuación matricial dada por:

$$A * b = B$$

Donde:

**Ecuación 27**

$$A = \begin{bmatrix} n & S_1 & S_2 \\ S_1 & S_2 & S_3 \\ S_2 & S_3 & S_4 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} S_5 \\ S_6 \\ S_7 \end{bmatrix}$$

Donde:

**Ecuación 28**

$$S_1 = \sum_{i=1}^n (x_i), S_2 = \sum_{i=1}^n (x_i^2), S_3 = \sum_{i=1}^n (x_i^3), S_4 = \sum_{i=1}^n (x_i^4),$$

**Ecuación 29**

$$S_5 = \sum_{i=1}^n (y_i), S_6 = \sum_{i=1}^n (x_i * y_i), S_7 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 * y_i).$$

**Teniendo en cuenta que:**

$x_i$  = la respuesta del CEMS – MP para el ensayo  $i$ .

$y_i$  = concentración de material particulado del Método de Referencia para el ensayo  $i$ .

$n$  = Número de ensayos

Por otro lado, los coeficientes determinados de la solución de la ecuación Polinomial, se obtienen según:

**Ecuación 30**

$$b_0 = \frac{(S_5 * S_2 * S_4 + S_1 * S_3 * S_7 + S_2 * S_6 * S_3 - S_7 * S_2 * S_2 - S_3 * S_3 * S_5 - S_4 * S_6 * S_1)}{\det A}$$

**Ecuación 31**

$$b_1 = \frac{(n * S_6 * S_4 + S_5 * S_3 * S_2 + S_2 * S_1 * S_7 - S_2 * S_6 * S_2 - S_7 * S_3 * n - S_4 * S_1 * S_5)}{\det A}$$

**Ecuación 32**

$$b_2 = \frac{(n * S_2 * S_7 + S_1 * S_6 * S_2 + S_5 * S_1 * S_3 - S_2 * S_2 * S_5 - S_3 * S_6 * n - S_7 * S_1 * S_1)}{\det A}$$

Considerando que  $\det A$  se calcula, según:

**Ecuación 33**

$$\det A = n * S_2 * S_4 - S_2 * S_2 * S_2 + S_1 * S_3 * S_2 - S_3 * S_3 * n + S_2 * S_1 * S_3 - S_4 * S_1 * S_1$$

Para determinar el rango medio del intervalo de confianza (IC), se deben obtener los coeficientes  $C_i$  ( $C_0$  al  $C_5$ ), los que se calculan, según:

**Ecuación 34**

$$C_0 = \frac{(S_2 * S_4 - S_3^2)}{D}, C_1 = \frac{(S_3 * S_2 - S_1 * S_4)}{D}, C_2 = \frac{(S_1 * S_3 - S_2^2)}{D}$$

**Ecuación 35**

$$C_3 = \frac{(n * S_4 - S_2^2)}{D}, C_4 = \frac{(S_1 * S_2 - n * S_3)}{D}, C_5 = \frac{(n * S_2 - S_1^2)}{D}$$

Donde  $D$ , corresponde a:

**Ecuación 36**

$$D = n * (S_2 * S_4 - S_3^2) + S_1 * (S_3 * S_2 - S_1 * S_4) + S_2 * (S_1 * S_3 - S_2^2)$$

Determine  $\Delta$ , usando la ecuación 37, para cada valor de  $x$ , según:



**Ecuación 37**

$$\Delta = C_0 + 2 * C_1 * x + (2 * C_2 + C_3) * x^2 + 2 * C_4 * x^3 + C_5 * x^4$$

Determine el valor de  $x$ , correspondiente al mínimo valor de  $\Delta$ , esto es  $\Delta_{\min}$ , luego se calcula la dispersión o desviación ( $S_p$ ) de los valores de  $\hat{y}$  alrededor de la curva de correlación polinomial, de acuerdo a la expresión siguiente:

**Ecuación 38**

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{n-3} * \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Determinar el rango medio del intervalo de confianza del 95% (IC) al valor de  $x$  correspondiente a  $\Delta_{\min}$ , usando la ecuación 39 según:

**Ecuación 39**

$$IC = t_{df} * S_p * \sqrt{D_{\min}}$$

Donde:

$$df = n - 3$$

$t_{df}$  = obtenido de Tabla N° 8

Luego, para determinar el rango medio del intervalo de confianza al valor de  $x$  correspondiente a  $\Delta_{\min}$ , como un porcentaje del límite de emisión (IC%), se emplea la ecuación 40, según:

**Ecuación 40**

$$IC\% = \frac{IC}{LE} * 100\%$$

Donde:

IC = Rango medio del intervalo de confianza al valor de (X), correspondiente a  $\Delta_{\min}$ .

LE = Límite de emisión de material particulado, según la normativa vigente.

Para determinar el rango medio del intervalo de tolerancia al valor (X), correspondiente a  $\Delta_{\min}$ , se debe utilizar:

**Ecuación 41**

$$IT = k_T * S_p$$

Donde:

**Ecuación 42**

$$k_T = u_{n'} * v_{df}$$

Y con:

**Ecuación 43**



$$n' = \frac{1}{\Delta_{min}}$$

**Para:**

$u_n$  = Valor indicado en Tabla N° 8

$v_{df}$  = Valor indicado en Tabla N° 8 para  $df = n-3$ , si el valor de  $n$  es menor que 2, entonces  $n = 2$ .

Para determinar el rango medio del intervalo de tolerancia al valor de  $(X)$ , correspondiente a  $\Delta_{min}$ , como porcentaje del límite de emisión, se debe utilizar:

**Ecuación 44**

$$IT\% = \frac{IT}{LE} * 100\%$$

**Donde:**

$IT$  = Rango medio del intervalo de tolerancia al valor medio de  $(X)$ .

$LE$  = Límite de emisión de material particulado, según la normativa vigente, correspondiente a  $\Delta_{min}$ .

Para determinar el coeficiente de la correlación polinomial, se debe emplear la ecuación 45, según:

**Ecuación 45**

$$r = \sqrt{1 - \frac{S_p^2}{S_y^2}}$$

**Donde:**

$S_p$  = Calculado a través de la ecuación 38

$S_y$  = Calculado a través de la ecuación 25

### 7.3.3. CORRELACIÓN LOGARÍTMICA

Para calcularla se deberán seguir las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 46**

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * \ln(x)$$

Y considerar la transformación de los valores de respuesta del CEMS-MP, esto es  $(X)$ , usando la ecuación 47, como sigue:

**Ecuación 47**

$$x'_i = \ln(x_i)$$

**Donde:**

$x'_i$  = Es el valor transformado de  $x_i$ .

$\ln(x_i)$  = Es el logaritmo natural de la respuesta del CEMS-MP para el ensayo  $i$ .

Luego, usando los valores para  $x'_i$ , en lugar de los valores para  $x_i$ , se deben ejecutar los mismos cálculos descritos para desarrollar la ecuación de correlación descrita en 7.3.1, quedando la ecuación resultante en la forma:

**Ecuación 48**

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x'$$



**Donde:**

$x'$  = Es el logaritmo natural de la respuesta del CEMS-MP  $x_i$ , y las variables  $\hat{y}$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  son calculadas según 7.3.1.

Usando los valores de  $x'_i$  en lugar de los  $x_i$ , se calcula el rango medio del intervalo de confianza al valor medio de  $x'_i$  como un porcentaje del límite de emisión (IC%), el rango medio del intervalo de tolerancia al valor medio de  $x'_i$  como un porcentaje del límite de emisión (IT%), y el coeficiente de correlación ( $r$ ), usando en los procedimientos descritos en 7.3.1.

### 7.3.4. CORRELACIÓN EXPONENCIAL

Para calcularla se deberán seguir las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 49**

$$\hat{y} = b_0 e^{b_1 x}$$

Se deberá ejecutar una transformación logarítmica de cada medición de material particulado (valores  $y$ ), según:

**Ecuación 50**

$$y'_i = Ln(y_i)$$

**Donde:**

$y'_i$  = es el valor transformado de  $y_i$ .

$Ln(y)$  = es el logaritmo natural de la medición de concentración de material particulado para el ensayo  $i$ .

Luego, usando los valores de  $y'_i$  en lugar de los valores de  $y_i$ , realizar los mismos procedimientos usados para desarrollar la ecuación de correlación lineal descrita en 7.3.1, la ecuación resultante tendrá la forma de la ecuación 51, de acuerdo a:

**Ecuación 51**

$$\hat{y}' = b'_0 + b'_1 x$$

**Donde:**

$\hat{y}'$  = el logaritmo del valor de concentración de MP estimado.

$b'_0$  = el logaritmo natural de  $b_0$ , y las variables  $b_0$ ,  $b_1$ , y  $x$  son determinados como en 7.3.1. Usando los valores de  $y'_i$  en lugar de los valores de  $y_i$ , calcule el rango medio del intervalo de confianza del 95% ( $CI'$ ) como se describe en la fórmula N° 18 de este protocolo<sup>14</sup>.

Luego calcule el valor superior ( $UCL'$ ) e inferior ( $LCL'$ ) del 95% del límite de confianza para el valor medio  $\underline{y}'$  usando la ecuación 52 y 53:

**Ecuación 52**

$$LCL' = \underline{y}' - CI'$$

**Ecuación 53**

$$UCL' = \underline{y}' + CI'$$

**Donde:**

$LCL'$  = el límite menor de confianza del 95% para el valor medio  $\underline{y}'$ .

<sup>14</sup> El  $CI'$  está en escala logarítmica.

$UCL'$  = el límite mayor de confianza del 95% para el valor medio de  $y'$ .

$y'$  = el valor medio del logaritmo transformado de concentración de MP y

$CI'$  = El rango medio del intervalo de confianza del 95% para la concentración estimada de MP ( $y'$ ) calculado según ecuación 18.

Calcular el rango medio del intervalo de confianza del 95% (CI) usando la ecuación 54.

#### Ecuación 54

$$CI = \frac{e^{UCL'} - e^{LCL'}}{2}$$

**Donde:**

CI = El rango medio del intervalo de confianza del 95%

Calcule el rango medio del intervalo de confianza del 95% para el valor previsto de MP correspondiente al valor medio de x como un porcentaje del límite de emisión (CI%) usando la ecuación 20.

Usando los valores de  $y'_i$  en lugar de los valores de  $y_i$ , calcule el rango medio del intervalo de tolerancia ( $TI'$ ) como se describe en la fórmula N° 23 de este protocolo<sup>15</sup>. Luego calcule el rango medio del límite de tolerancia al valor medio de  $y'$  usando la ecuación 55 y 56:

#### Ecuación 55

$$LTL' = y' - TI'$$

#### Ecuación 56

$$UTL' = y' + TI'$$

**Donde:**

$LTL'$  = el 95 por ciento más bajo del límite de tolerancia para el valor medio  $y'$

$UTL'$  = el 95 por ciento superior del límite de tolerancia para el valor medio  $y'$

$y'$  = el valor medio de la transformación logarítmica de las concentraciones de PM

$TI'$  = el rango medio del intervalo de tolerancia del 95 por ciento de la concentración PM estimada ( $y'$ ). Calculada con la ecuación N° 21 de este protocolo.

Calcular el rango medio del intervalo de tolerancia (TI) en la escala original de concentración de MP, usando la ecuación 57:

#### Ecuación 57

$$TI = \frac{e^{UTL'} - e^{LTL'}}{2}$$

**Donde:**

TI = el rango medio del intervalo de tolerancia del 95 por ciento en la escala original de concentración de MP.

Calcule el rango medio del intervalo de tolerancia para predecir la concentración de MP correspondiente al valor medio de X como porcentaje del límite de emisión (TI%) usando la ecuación N° 23.

<sup>15</sup> El  $TI'$  está en escala logarítmica.



Para determinar el coeficiente de correlación ( $r$ ), emplee los valores para  $y'_i$  en el lugar de los valores para  $y_i$ , usando los procedimientos descritos en 7.3.1, usando la ecuación 24.

### 7.3.5. CORRELACIÓN DE POTENCIA

Para calcularla se deberán seguir las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 58**

$$\hat{y} = b_0 * x^{b_1}$$

Realizar las transformaciones logarítmicas de cada respuesta del CEMS-MP (valores  $x$ ) y cada concentración medida de MP (valores  $y$ ) usando las ecuaciones 47 y 50.

Usando los valores para  $x'_i$  en lugar de los valores de  $x_i$  y los valores para  $y'_i$  en lugar de los valores de  $y_i$ , realizar el mismo procedimiento usado para desarrollar la ecuación de correlación lineal, la ecuación resultante tendrá la siguiente forma:

**Ecuación 59**

$$\hat{y}' = b'_0 + b_1 * x'$$

**Dónde:**

$\hat{y}'$  = Valor logarítmico de la concentración de MP predictiva.

$x'$  = El logaritmo natural de los valores de respuesta del PM CEMS

$b'_0$  = El logaritmo natural de  $b_0$  y las variables  $b_0$ ,  $b_1$  y  $x$  son definidas en el punto 7.3.1

Utilizando el mismo procedimiento descrito para los modelos exponenciales de esta sección, calcular (i) el rango medio del intervalo de confianza del 95 por ciento de la concentración MP estimada correspondiente al valor medio de  $x'$  como un porcentaje del límite de emisión; y (ii) el rango medio del intervalo de tolerancia para la concentración PM estimada correspondiente al valor medio de  $x'$  como un porcentaje del límite de emisión.

Usando los valores de  $y'_i$  en lugar de los valores de  $y_i$ , calcular el coeficiente de correlación ( $r$ ) usando la ecuación 24.

### 7.4. DETERMINACIÓN DE EMISIONES EN MASA

Se define el siguiente procedimiento para determinar flujos de emisión, utilizando los datos recolectados por el Sistema de Monitoreo Continuo.

El valor de concentración, que en el caso de los gases se obtiene en unidades de ppm, se debe convertir a la unidad de  $mg/Nm^3$ , la que se obtendrá mediante el producto entre los ppm medidos y el factor correspondiente al parámetro señalado en la Tabla N°7. Obtenido el valor horario de la concentración en masa y el valor del flujo de gases horarios en base seca, se debe determinar el valor de emisión horaria mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 62**

$$Emisión (kg/h) = \frac{Concentración (mg/m^3 N) * Caudal (m^3 N/h)}{1000000}$$

Donde el caudal está en base seca y normalizado a 25°C y una atmósfera de presión. Calculando la emisión diaria de la siguiente forma:

**Ecuación 63**



$$Emisión\ diaria\ (kg/día) = \sum_{hora=1}^{hora=24} Emisión\ horaria\ (kg/h)$$

Y la emisión anual:

**Ecuación 64**

$$Emisión\ anual\ (Ton/año) = \sum_{hora=1}^{hora=8760} Emisión\ horaria\ (kg/h)/1000$$

**Tabla N° 7:**

**Ejemplos de Factores de conversión de unidad de concentración**

Parámetro	Factor de conversión de ppm a mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	2,617
NO <sub>2</sub>	1,881

Para efectos de la corrección de los valores por oxígeno, según el porcentaje aplicable, se podrá utilizar la siguiente ecuación, se entrega un ejemplo de corrección de concentración (ppm) al 6% de oxígeno.

**Ecuación 65**

$$ppm\ (corregido) = ppm\ (no\ corregido) * \frac{20,9 - 6,0}{[20,9 - \% O_2\ (seco)]}$$

Para efectos de la corrección de los valores por Humedad (% Bws), en los casos que aplique, se corrige cada muestreo húmedo del Método de Referencia para detectar la humedad con los datos correspondientes del método CH-4; y se corrige cada serie de muestreo húmedo del CEMS utilizando la información correspondiente del monitor de humedad del CEMS según la siguiente ecuación:

**Ecuación 66**

$$Concentración\ (seca) = \frac{concentración\ (humedad)}{(1 - Bws)}$$

**Ecuación 67**

$$Porcentaje\ de\ horas\ de\ datos\ válidos = \frac{total\ de\ horas\ con\ datos\ válidos\ en\ el\ período\ acumulado}{total\ de\ horas\ acumuladas} * 100$$

**Tabla N° 8:**

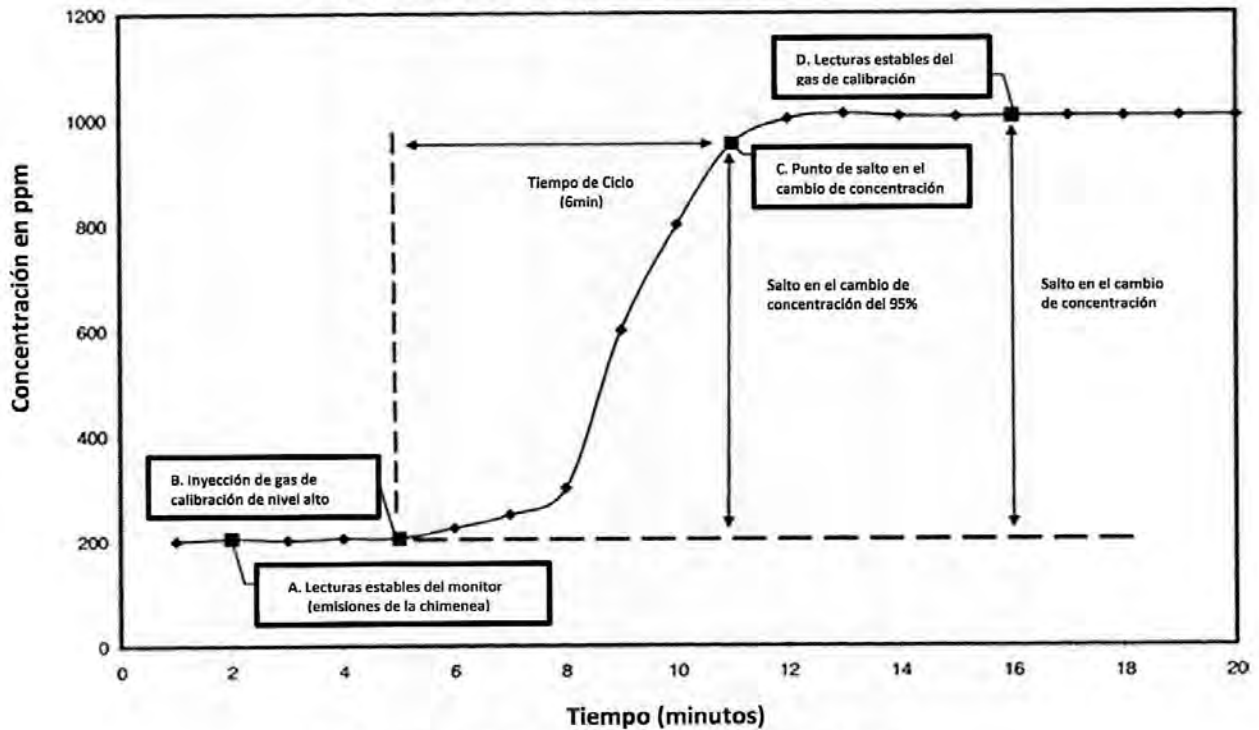
**Factores para calcular el coeficiente de confianza  $t_{0,0025}$  y los rangos medios para intervalos de Confianza y Tolerancia.**

df o n' o (n-1)	t <sub>α</sub> o t <sub>0,0025</sub>	V <sub>α</sub>	u <sub>m</sub> <sup>(75)</sup>
2	4.303	4.415	1.433
3	3.182	2.920	1.340
4	2.776	2.372	1.295

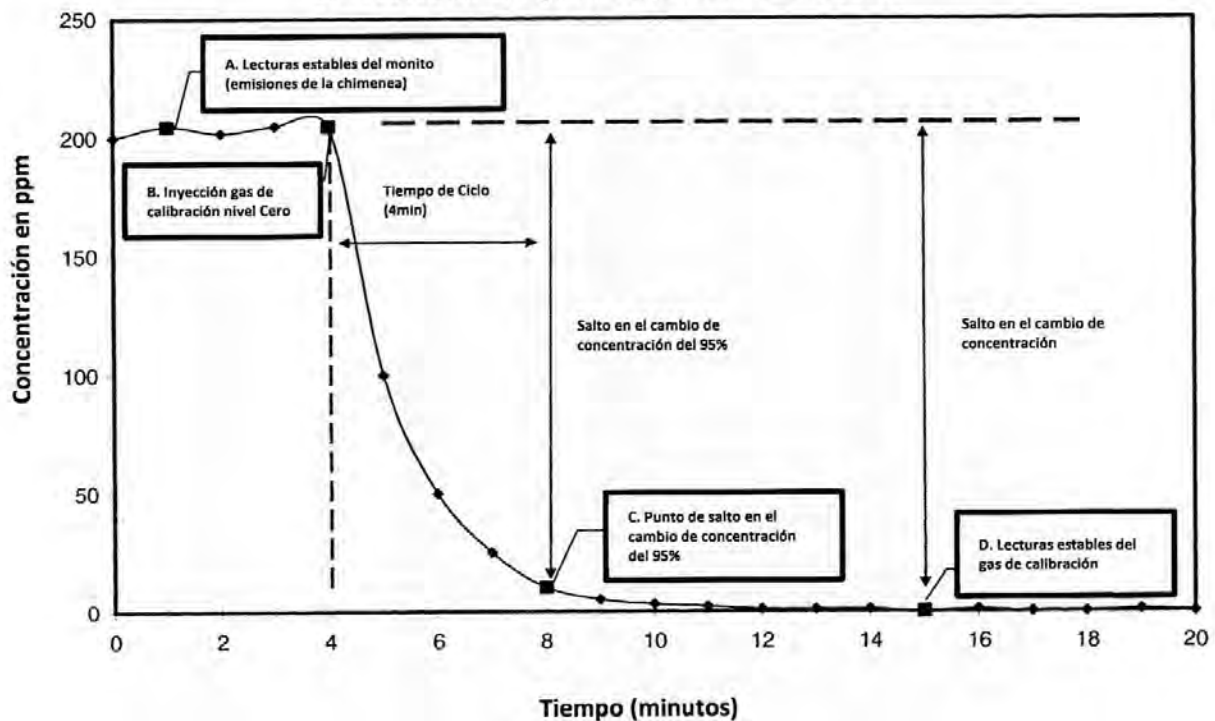
5	2.571	2.089	1.266
6	5.447	1.915	1.247
7	2.365	1.797	1.223
8	2.306	1.711	1.223
9	2.262	1.645	1.214
10	2.228	1.593	1.208
11	2.201	1.551	1.203
12	2.179	1.515	1.199
13	2.160	1.485	1.195
14	2.145	1.460	1.192
15	2.131	1.437	1.189
16	2.120	1.418	1.187
17	2.210	1.400	1.185
18	2.101	1.385	1.183
19	2.093	1.370	1.181
20	2.086	1.358	1.179
21	2.080	1.346	1.178
22	2.074	1.335	1.177
23	2.069	1.326	1.175
24	2.064	1.317	1.174
25	2.060	1.308	1.173
26	2.056	1.301	1.172
27	2.052	1.294	1.172
28	2.048	1.287	1.171
29	2.045	1.281	1.171
30	2.042	1.274	1.170
31	2.040	1.269	1.169
32	2.037	1.264	1.169
33	2.035	1.258	1.168
34	2.032	1.253	1.168
35	2.030	1.248	1.167
36	2.028	1.244	1.167
37	2.026	1.240	1.166
38	2.025	1.236	1.166
39	2.023	1.232	1.165
40	2.021	1.228	1.165
41	2.020	1.225	1.165
42	2.018	1.222	1.164
43	2.017	1.219	1.164
44	2.015	1.216	1.163
45	2.014	1.213	1.163
46	2.013	1.210	1.163
47	2.012	1.207	1.163
48	2.011	1.205	1.162
49	2.010	1.202	1.162
50	2.009	1.199	1.162
51	2.008	1.197	1.162
52	2.007	1.194	1.162
53	2.006	1.191	1.161
54	2.005	1.189	1.161
55	2.005	1.186	1.161
56	2.004	1.183	1.161
57	2.003	1.181	1.161
58	2.002	1.178	1.160
59	2.001	1.176	1.160
60	2.000	1.173	1.160
61	2.000	1.170	1.160
62	1.999	1.168	1.160
63	1.999	1.165	1.159

Figura 1:  
Ejemplos para la determinación del tiempo de respuesta o de ciclo.

a. Prueba del tiempo de respuesta del nivel alto



b. Prueba del tiempo de respuesta del nivel Cero



- Para determinar el tiempo de ciclo de nivel alto (Figura 1 a), medir las emisiones de gases de combustión hasta que la respuesta se estabilice. Registre el valor estabilizado.
- Se inyecta un gas de calibración de nivel alto en el puerto que lleva a la celda de calibración (punto B). Permitir que el analizador se estabilice. Registre el valor estabilizado.
- Determine el punto de salto en el cambio de concentración. El punto de salto es igual a la diferencia entre el valor final estable del gas de calibración (punto D) y el valor estabilizado de las emisiones de la chimenea (Punto A).

- d) Tomar 95% del valor de salto abrupto y sumar el resultado del valor estabilizado de las emisiones de la chimenea (Punto A). Determinar el tiempo en que se produce el 95% del salto abrupto (punto C).
- e) Calcular el tiempo de ciclo de nivel alto restando el tiempo en el que se inyecta el gas de calibración (punto B) desde el momento en que el 95% del salto abrupto se produce (punto C).

En este ejemplo, el Tiempo de Ciclo de nivel alto es:  $(11 - 5) = 6$  minutos.

- f) Para determinar el tiempo de ciclo descendente de la escala (Figura 1b) repetir los procedimientos anteriores, excepto que un gas se inyecta a cero cuando las emisiones de gases de combustión se han estabilizado y 95% del cambio de paso en la concentración se resta de la pila estabilizado valor de las emisiones
- g) Compare los valores del ciclo de expansión y reducción de tiempo. El más largo de estos dos tiempos es el tiempo de ciclo para el analizador.

## ANEXO I: DEFINICIONES APLICABLES

1. **SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y MANEJO DE DATOS (DAHS):** *Componente del CEMS que recolecta los datos del analizador y realiza los cálculos básicos.*
2. **ANALIZADOR DE CONTAMINANTES:** *Componente del CEMS que mide la concentración de contaminantes y genera una salida proporcional.*
3. **ÁREA CENTROIDAL:** *Es el área concéntrica, que es geoméricamente similar a la sección transversal de la chimenea o ducto y que no es mayor que el 1% del área seccional de la chimenea o ducto.*
4. **ATENUADORES:** *Dispositivos (filtros de vidrio o malla que reducen la transmisión de luz).*
5. **CHEQUEO DE MARGEN DE ERROR:** *Es un chequeo de la diferencia entre las lecturas de salida del CEMS-MP y el valor de referencia establecido de una norma o procedimiento de referencia, después de un período establecido de operación durante el cual se realizaron acciones de mantenimiento, reparaciones o ajustes no programados. Los procedimientos usados para determinar el margen de error son específicos a los principios de operación del CEMS-MP específico. Un chequeo de margen de error incluye un chequeo en valor Cero y otro en escala superior.*
6. **CHEQUEO DE VOLUMEN DE MUESTRA:** *Es un chequeo o revisión de la diferencia entre la lectura de volumen de muestra del CEMS-MP y el valor de referencia de volumen de muestra.*
7. **COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r):** *Es una medida cuantitativa de la asociación entre las salidas (outputs) del CEMS-MP y las mediciones del Método de Referencia. Las ecuaciones para calcular el valor r se entregan en la sección 6.5.3. a.- Para correlaciones lineales y en la sección b.- para correlaciones polinomiales, en las secciones c., d.- y e.-, para los otros modelos.*
8. **CONDICIONES NORMALES (N):** *Es la normalización de los datos a 25°C y 1 atmósfera.*
9. **CORRELACIÓN:** *Es la relación matemática principal para correlacionar la salida (output) del CEMS-MP con una concentración de material particulado, según lo determinado por el Método de Referencia. La correlación se expresa en las unidades de medida que son consistentes con las condiciones de medición (ejemplo: miligramos por metro cúbico estándar seco, miligramos por metro cúbico real) del CEMS-MP.*
10. **CORRELACIÓN DE POTENCIA:** *Es una ecuación de potencia usada para definir una relación o función entre la salida del CEMS-MP y la concentración del Método de Referencia.*
11. **CORRELACIÓN DEL CEMS-MP:** *Es la relación específica a la planta (esto es, una ecuación de regresión) entre la salida del CEMS-MP (ejemplo, mA) y la concentración de particulado, determinada por el Método de Referencia. La correlación del CEMS-MP se expresa en las mismas unidades que la concentración de material particulado, medida por el CEMS-MP (ejemplo mg/Nm<sup>3</sup>). Se debe derivar esta relación a partir de los datos de respuesta del CEMS-MP y datos del Método de Referencia manual que fueron recogidos simultáneamente. Estos datos deben ser representativos del rango total de condiciones de la fuente y el dispositivo de control que se espera que ocurran.*
12. **CORRELACIÓN EXPONENCIAL:** *Es una ecuación exponencial usada para definir la relación entre la salida (output) del CEMS-MP y la concentración de material particulado del Método de Referencia.*
13. **CORRELACIÓN LINEAL:** *Relación matemática de primer grado entre la salida del CEMS-MP y la concentración de material particulado del Método de Referencia que es lineal en forma.*
14. **CORRELACIÓN LOGARÍTMICA:** *Es una relación matemática de primer grado entre el logaritmo natural de la salida del CEMS-MP y la concentración de material particulado del Método de Referencia que es lineal en forma.*
15. **CORRELACIÓN POLINOMIAL:** *Es una ecuación de segundo grado usada para definir la relación entre la salida del CEMS-MP y la concentración de material particulado del Método de Referencia.*
16. **DESVIACIÓN DE CALIBRACIÓN (DC):** *Es la diferencia en la lectura de salida del CEMS y un valor de referencia, después de un período de operación, durante el cual no se ha hecho mantenimiento no programado, reparación o ajustes.*
17. **ENTIDAD DE INSPECCIÓN:** *Persona jurídica autorizada por la Superintendencia del Medio Ambiente para llevar a cabo actividades de verificación, medición y/o análisis respecto de un instrumento de gestión ambiental.*
18. **ERROR DE CALIBRACIÓN (EC):** *Es la diferencia entre la concentración indicada por el CEMS y una concentración o valor de referencia.*
19. **ESCALA DE MEDICIÓN:** *Corresponde al o los rangos de medición propios del analizador o monitor.*

20. **ESTÁNDAR DE REFERENCIA:** Es un material o procedimiento de referencia que produce una respuesta conocida o no cambiante al ser aplicado a la parte de monitoreo de contaminante del CEMS. Usted debe usar estos estándares para evaluar la operación general del CEMS-MP, pero no para desarrollar una correlación del CEMS-MP.
21. **EXACTITUD RELATIVA:** Es la diferencia media absoluta entre la concentración del contaminante determinada por el CEMS y el valor determinado por el Método de Referencia (MR), más el error del 2,5% del coeficiente de confianza, de una serie de pruebas divididas por el promedio de las pruebas del MR o el límite de emisión que se aplique.
22. **FACTOR DE CAPACIDAD:** Es la relación entre la producción eléctrica anual real de la unidad (expresada en MW/hr) y la capacidad nominal de la unidad (o carga máxima observada en el horario punta) dentro de 1 año, o la relación entre la producción de calor anual de la unidad y la capacidad máxima nominal de producción de calor por la unidad en 1 año.
23. **FUENTE DE BAJA EMISIÓN:** Es una fuente que, operada a no más del 50 por ciento del límite de emisiones durante el ensayo de funcionamiento más reciente y basándose en la correlación del SMCEP, sus emisiones diarias promedio, medidas en las unidades del límite de emisiones aplicable, no han excedido el 50 por ciento del límite de emisión para cualquier día desde el ensayo de funcionamiento más reciente.
24. **GAS EPA-PROTOCOL:** Es la mezcla de gas de calibración preparada y analizada de acuerdo a la sección 2 del "EPA Traceability Protocol for Assay and Certification of Gaseous Calibration Standards", Septiembre de 1997.
25. **INTERFAZ DE MUESTREO:** Es el componente del CEMS utilizada para una o más de las siguientes acciones: adquisición de muestras, envío de muestras, acondicionamiento de muestras o protección del monitor de los efectos del efluente de la chimenea.
26. **INTERVALO DE TOLERANCIA:** El intervalo dentro del cual obligatoriamente debe estar un porcentaje especificado de la concentración, con un nivel de confianza dado.
27. **MÉTODO DE REFERENCIA:** Corresponde al método oficializado como método de aplicación para el muestreo y/o análisis de un contaminante en el aire, como se especifica en las normativas aplicables.
28. **MONITOR DE DILUTOR Y OTRO(S) MONITOR(ES) DE DATOS AUXILIAR(ES) (si es aplicable):** Es el componente del CEMS que entrega la concentración de gas dilutor (tal como el O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>, según sea especificado por las regulaciones aplicables), temperatura, presión y/o contenido de humedad, y genera una salida (output) proporcional a la concentración de gas dilutor o propiedad del gas.
29. **MONITOR DE FLUJO:** Es el componente del CEMS que mide el flujo volumétrico del gas de salida.
30. **MONITOR DE GAS DILUENTE:** Es el componente del CEMS que mide la concentración del gas diluyente en la corriente de gases de una fuente.
31. **MUESTREO POR LOTES:** Significa que el gas es muestreado de manera intermitente y concentrada en un medio colector antes de los análisis y consiguientes reportes intermitentes. Los CEMS-MP tipo Indicadores Beta son un ejemplo de dispositivos de muestreo por lotes.
32. **PERÍODO DE DATOS PERDIDOS:** Es el número total de horas consecutivas, durante las cuales cualquier CEMS aprobado, no entrega datos de calidad, independiente de la razón.
33. **PERÍODO FUERA DE CONTROL:** El período de tiempo en el cual el CEMS es incapaz de generar datos válidos, como demostración de una falla en el sistema.
34. **PERÍODO DE PRUEBA OPERACIONAL:** Es un período de tiempo (168 horas) durante el cual se espera que el COMS opere dentro de las especificaciones de funcionamiento establecidas, sin ningún mantenimiento no programado, reparaciones o ajustes.
35. **PRECISIÓN DEL CEMS O PRECISIÓN:** Es la cercanía de una medición al valor medido, expresado como la incerteza asociada con mediciones repetidas de la misma muestra o de diferentes muestras del mismo proceso. Una técnica de medición, se determina por tener cada vez mayor "precisión", como la variación entre las mediciones repetidas disminuye.
36. **PRECISIÓN DEL MONITOR:** Es la cercanía de las mediciones efectuadas por un CEMS, al valor de referencia de las emisiones o el flujo volumétrico medido, expresado como la diferencia entre la medición y el valor de referencia.
37. **RANGO DE MEDICIÓN:** Es un rango de medición capaz de registrar la totalidad o la mayoría de las lecturas que cumplen con mantenerse entre el 20 y 80 por ciento de este.
38. **RANGO MEDIO DE INTERVALO DE CONFIANZA (IC):** Es el término estadístico para un medio del ancho del intervalo de confianza del 95 por ciento, alrededor de la concentración media estimada de material particulado (valor y), calculada al valor de respuesta del CEMS-MP (valor x) donde el intervalo de confianza es más angosto.

39. **RANGO MEDIO DE INTERVALO DE TOLERANCIA (IT):** Es un medio del ancho del intervalo de tolerancia con límites superior e inferior, dentro del cual un porcentaje especificado de la población de datos futura, es contenido con un nivel dado de confianza, según lo definido por las respectivas ecuaciones del rango medio de intervalo de tolerancia.
40. **REGISTRADOR DE DATOS:** Es el componente del Sistema de monitoreo continuo que entrega un registro permanente de datos del monitor, en términos de respuesta y estado (indicadores – flags). El registrador de datos puede también tener capacidades de reducción automática de datos y control del CEMS.
41. **SERIES PAREADAS:** Son dos series del Método de Referencia que se usan para realizar mediciones simultáneas de concentraciones de material particulado.
42. **SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES (CEMS):** Es el equipamiento total requerido para la determinación de la concentración de un contaminante.
43. **SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES DE GASES:** Es el equipamiento requerido para la determinación de la concentración de un contaminante gaseoso.
44. **SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (CEMS-MP):** Es todo el equipamiento requerido para la determinación de la concentración de masa de material particulado en unidades de la norma de emisión. La interfaz de muestreo, monitor de contaminante, monitor de dilutor, otro(s) monitor(es) auxiliar(es) de dato(s), y el registrador de datos constituyen los mayores subsistemas del CEMS-MP.
45. **SISTEMA CEM CON EXTRACCIÓN Y DILUCIÓN:** Es un CEMS que extrae y diluye una alícuota de la corriente de gas con aire seco y limpio antes del análisis. La humedad permanece en la muestra, pero se diluye a un punto, bajo el punto de rocío y así no se condensará durante el análisis.
46. **SISTEMA CEM DE TRAVERSA:** Es un CEMS que mide las concentraciones de contaminantes a lo largo de una travesa de más del 10% del diámetro equivalente de la chimenea o ducto.
47. **SISTEMA CEM DE UN PUNTO:** CEMS que mide las concentraciones de contaminantes en un único punto o a lo largo de una travesa, de largo inferior al 10% del diámetro equivalente de la chimenea o ducto.
48. **SISTEMA CEM EXTRACTIVO:** CEMS que remueve una alícuota de gas de la chimenea para el análisis.
49. **SISTEMA CEM IN SITU:** Es un CEMS que analiza la corriente de gases en la chimenea. Puede ser en un punto o en una travesa.
50. **TIEMPO DE CICLO:** Es el tiempo requerido para completar un ciclo de muestreo, medición y reporte. Para un CEMS-MP de muestreo por lotes, el tiempo de ciclo comienza cuando el gas de muestra es extraído del ducto/chimenea y termina cuando la medición de esa muestra está completa y se produce un nuevo resultado para ella en el registrador de datos.
51. **TIEMPO DE RESPUESTA:** Corresponde al intervalo de tiempo entre la partida de un cambio de paso en la entrada del sistema y el tiempo en que la salida del analizador alcanza un 95% del valor final (esperado).
52. **TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD:** es la fracción de la hora en que la unidad quema el combustible, es decir, 1,00 si la unidad opera para la hora completa, 0.50 si opera solamente para la mitad de la hora, etc.
53. **UBICACIÓN DE MUESTREO DEL MÉTODO DE REFERENCIA PARA MATERIAL PARTICULADO:** Es la ubicación en el ducto de escape de la fuente, en la que recolecta muestra utilizando el Método de Referencia manual para desarrollar la correlación del CEMS-MP y para ejecutar auditorías de respuesta relativa (ARRs) y auditorías de correlación de respuesta (ACRs).
54. **UNIDAD CON CHIMENEA BYPASS:** cualquier ducto, chimenea o conducto a través del cual las emisiones de una unidad pueden aumentar o sustituir al principal sistema de evacuación durante algún periodo de operación de la unidad.
55. **UNIDADES CON CHIMENEA COMUN,** dos o más unidades cuyo escape de emisiones se realiza a través de una sola chimenea o ducto en común.
56. **UNIDAD CON MULTIPLES CHIMENEAS:** se refiere a la configuración de escape en el que las emisiones de una unidad en particular se descargan a través de dos o más chimeneas o ductos.
57. **UNIDAD DE COMBUSTIBLE DE MUY BAJO CONTENIDO DE AZUFRE:** aquella que quema combustible con las siguientes condiciones: (i) el contenido de azufre no supera el 0.05% en peso de azufre, (ii) combustiona gas natural o (iii) combustiona gas con un contenido de azufre que no supera los 0,2 g/m<sup>3</sup> estandarizados, (iv) informar el tipo y características del combustible en cuanto a contenido de S, el cual debe ser concordante con el DS 60 del Ministerio de Energía.
58. **UNIDAD DUAL PETROLEO-GAS:** aquella unidad que quema algún combustible líquido, tales como un derivado del petróleo y gas natural.



59. **UNIDAD PEAK:** Es aquella unidad que cumple con la definición de unidad a gas o dual Petróleo - Gas y que tiene: (i) un factor de capacidad promedio de no más del 10% durante los últimos tres años anteriores y (ii) un factor de capacidad de no más de 20% por ciento en cada uno de esos tres años.
60. **VALOR DE CHEQUEO DE ESCALA SUPERIOR:** Es la respuesta esperada a un estándar o procedimiento de referencia usado para chequear la respuesta de escala superior del CEMS-MP.
61. **VALOR DE CHEQUEO EN CERO:** Es la respuesta esperada a un estándar o procedimiento de referencia usado para chequear la respuesta de su CEMS-MP a condiciones de libres o baja concentración de material particulado.
62. **VALOR DE CORRELACIÓN EN PUNTO CERO:** Representa un valor agregado a los datos de la correlación del CEMS-MP, para representar datos de concentración de material particulado bajos cercanos a cero.
63. **VALOR DE REFERENCIA O SEÑAL DE REFERENCIA:** Es la concentración conocida de un gas de calibración, el valor conocido de una señal electrónica de calibración o el valor conocido de cualquier otro estándar de medición aprobado por la Superintendencia del Medio Ambiente, asumido como el valor real del contaminante o la concentración del diluyente o el flujo volumétrico que está siendo medido.
64. **VALOR DE SPAN:** Es el límite superior del rango de medición de la concentración del contaminante.

  
FJA/JHR