



## Resolución Ministerial N° 205-2016-MINAM

Lima, 26 JUL. 2016

Visto, el Memorando N° 223-2016-MINAM/VMGA del Viceministerio de Gestión Ambiental; el Informe N° 150-2016-MINAM/VMGA/DGCA de la Dirección General de Calidad Ambiental; el Memorando N° 465-2016-MINAM/SG/OAJ de la Oficina de Asesoría Jurídica; y demás antecedentes; y,

### CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo 3 de la Ley N° 28611, referido al rol de Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley;

Que, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente establece como su función general el diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental, asumiendo la rectoría con respecto a ella; de ese mismo modo, el literal e) del artículo 7 del mencionado Decreto Legislativo establece como una de sus funciones específicas, aprobar los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) en los diversos niveles de gobierno;

Que, la Política Nacional del Ambiente, aprobada por Decreto Supremo N° 012-09-MINAM, consigna entre los Lineamientos de Política del Eje de Política 2 – Gestión Integral de la Calidad Ambiental – referidos a la calidad del aire, el establecer medidas para prevenir y mitigar los efectos de los contaminantes del aire sobre la salud de las personas;

Que, la Agenda Nacional de Acción Ambiental – AgendAmbiente Perú 2015-2016, aprobada por Resolución Ministerial N° 405-2014-MINAM, dentro de los productos y actividades del Frente Calidad Ambiental, considera como uno de los productos del Objeto 8 - Reducir los niveles de contaminación del aire - la actualización del marco normativo de la calidad del aire detallando como actividad la aprobación del protocolo de monitoreo continuo de emisiones;



Que, la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente se encarga de diseñar y supervisar la aplicación de los instrumentos de prevención, de control y de rehabilitación ambiental relacionados con los residuos sólidos y peligrosos, el control y reuso de los efluentes líquidos, la calidad del aire, ruido, radiaciones no ionizantes, las sustancias y productos peligrosos, y el saneamiento, conforme lo dispone el artículo 40 del Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM;

Que, en ese sentido, se ha elaborado el "Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones – CEMS", instrumento que permite estandarizar los procedimientos del monitoreo continuo de emisiones en fuentes estacionarias, y con ello evaluar la calidad del aire, en función del cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles establecidos y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire;

Que, en el marco de lo dispuesto en el Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, la presente propuesta ha sido sometida a consulta y participación ciudadana, en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios; por lo que, corresponde emitir la presente resolución;

Con el visado del Viceministro de Gestión Ambiental; de la Secretaría General; de la Dirección General de Calidad Ambiental; y de la Oficina de Asesoría Jurídica;

De conformidad con lo dispuesto en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, y su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM.

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1.-** Aprobar el "Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones – CEMS", que como Anexo forma parte integrante de la presente resolución.

**Artículo 2.-** Disponer la publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano. La presente resolución y su Anexo son publicados, asimismo, en el Portal de Transparencia Estándar del Ministerio del Ambiente, en la misma fecha de publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

  
**Manuel Pulgar-Vidal Otálora**  
Ministro del Ambiente





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## PROTOCOLO NACIONAL DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES – CEMS





## ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES	4
3. ALCANCE	4
4. PROPÓSITO	5
5. BASE LEGAL	5
6. OBJETIVOS	5
6.1 OBJETIVO GENERAL	5
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
7. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LOS SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES (CEMS)	6
7.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS	6
7.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS	6
7.3 INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y OPERATIVIDAD DEL CEMS	7
7.4 UBICACIÓN DEL SITIO DE INSTALACIÓN Y PUNTO DE MEDICIÓN	8
7.4.1 UBICACIÓN DEL CEMS DE GASES (CEMSG)	8
7.4.2 UBICACIÓN DEL CEMS DE MP (CEMS-MP)	9
7.4.2.1 UBICACIÓN DEL CEMS DE OPACIDAD (CEMS-OP)	9
7.4.3 UBICACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO	10
8. TIPOS Y COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO	10
8.1 TIPOS DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO	10
8.1.1 SISTEMAS DE MONITOREO IN SITU	10
8.1.2 SISTEMAS DE MONITOREO EXTRACTIVOS	12
8.1.3 SISTEMAS EXTRACTIVOS COMPLETOS O DIRECTOS	13
8.1.4 SISTEMAS EXTRACTIVOS CON DILUCIÓN	14
8.2 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO	15
8.2.1 SONDA DE MUESTREO (PROBETA)	15
8.2.2 LÍNEA DE TRANSPORTE DE MUESTRA (UMBILICAL)	16
8.2.3 SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA	16
8.2.4 BOMBA DE MUESTREO	17
8.2.5 SISTEMAS DE ANALIZADORES	17
8.2.6 CASETA DEL CEMS	17
9. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DEL CEMS	19
9.1 METODOLOGÍAS PARA GASES	19
9.1.1 MONITORES FOTOANALÍTICOS	19
9.1.2 CROMATOGRAFÍA DE GASES (GC) CON DETECTOR POR IONIZACIÓN DE LLAMA (FID)	20
9.1.3 FLUORESCENCIA ATÓMICA PARA LA MEDICIÓN DE MERCURIO	21
9.1.4 MÉTODOS MAGNÉTICOS	21
9.2 METODOLOGÍAS PARA PARTÍCULAS	22
9.2.1 OPACÍMETROS	23
9.2.2 OPACÍMETROS DINÁMICOS (CENTELLEO ÓPTICO)	23
9.2.3 ELECTRODINÁMICOS	23
9.2.4 DISPERSIÓN DE LUZ (LIGHT SCATTERING)	24
9.2.5 ATENUACIÓN BETA	24
9.3 OTROS PARAMETROS	25
9.3.1 MEDIDORES CONTINUOS DE LA VELOCIDAD	25
9.3.1.1 SENSOR ULTRASÓNICO	26
9.3.2 MEDIDORES DE HUMEDAD	27





10.	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD Y PROCEDIMIENTOS DE VALIDACION DEL CEMS	28
10.1	PARA SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE GASES CEMSG	28
10.1.1	CALIBRACIÓN	29
10.1.1.1	CRITERIOS PARA EL USO DE LOS GASES DE CALIBRACIÓN	30
10.1.1.2	DETERMINACIÓN DEL VALOR SPAN Y RANGOS DE ESCALA	30
10.1.2	ENSAYOS DE VALIDACIÓN (DC, EL, ER)	31
10.1.2.1	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LA DESVIACIÓN DE LA CALIBRACIÓN (DC)	31
10.1.2.2	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LINEALIDAD (EL)	32
10.1.2.3	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE EXACTITUD RELATIVA (ER)	33
10.1.2.4	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RESPUESTA	35
10.1.3	RECOLECCIÓN DE MUESTRA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFERENCIA	36
10.1.3.1	SITIO DE MEDICIÓN	36
10.1.3.2	PUNTO DE MEDICIÓN	36
10.1.4	ECUACIONES APLICABLES A LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN CEMSG (DC, EL, ER)	36
10.1.5	ENSAYOS PARA AUDITORIAS CEMSG	38
10.2	PARA SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE PARTICULAS CEMS-MP	38
10.2.1	ENSAYOS MARGEN DE ERROR (ME)	38
10.2.2	ENSAYOS DE CORRELACIÓN	40
10.2.2.1	ECUACIONES ENSAYOS DE CORRELACIÓN	42
10.2.2.2	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA CORRELACIÓN	51
10.2.2.3	EXTRAPOLACIÓN DE LA CORRELACIÓN	52
10.2.3	MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS	53
10.2.4	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (QA) PARA CEMS-MP	53
10.2.4.1	CHEQUEOS	54
10.2.4.2	PROCEDIMIENTO PARA AUDITORÍAS	54
10.2.4.3	ACEPTACIÓN DE LAS AUDITORÍAS	56
10.2.4.4	FRECUENCIA Y ORDEN DE LAS AUDITORÍAS	57
10.3	PARA SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE OPACIDAD	58
10.3.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y AUDITORÍAS DE CAMPO	58
10.3.2	PERIODO DE PRUEBA OPERACIONAL	59
11.	PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN, AUDITORÍA Y REVALIDACIÓN	60
11.1	PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN	60
11.2	PROGRAMACIÓN DE LAS AUDITORÍAS	60
11.3	REVALIDACIÓN DEL SISTEMA CEM	60
12.	OBTENCIÓN, ALMACENAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS	61
12.1.	SISTEMA DE ADQUISICIÓN, TRATAMIENTO Y COMUNICACIÓN SATC	61
12.2	OBTENCIÓN DE DATOS	61
12.3	ALMACENAMIENTO DE DATOS	62
12.4	REGISTRO DE DATOS	62
12.5	TRANSMISIÓN DE DATOS EN LÍNEA	62
12.6	ANÁLISIS DE DATOS ANÓMALOS Y SUSTITUCIÓN DE DATOS PERDIDOS	63
12.6.1	PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN DE DATOS ETAPA INICIAL	63
12.6.2	PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN DE DATOS ETAPA ESTÁNDAR	64
13.	CONVERSIONES DE UNIDADES	66
13.1	DETERMINACIÓN DE EMISIONES EN MASA	66
14	GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES	72





## PROTOCOLO NACIONAL DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES (CEMS)

### 1. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de las fuentes estacionarias están compuestas por diversos gases y partículas, que contribuyen a la contaminación atmosférica. Para determinar la cantidad de contaminantes emitidos de las fuentes estacionarias, en forma continua y permanente, se establece un Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones (en inglés CEMS), que permite el muestreo y medición de la concentración de varios contaminantes, en forma instantánea, en tiempo real y que, mediante un sistema de adquisición y transferencia de datos en línea, reporta las condiciones de operación y resultados de medición en forma remota, de las fuentes estacionarias de las actividades productivas y energéticas, que en sus operaciones y procesos generen emisiones.

Dado que en el medio existe una variedad de equipos de monitoreo de emisiones con principios y metodologías diferentes, con la finalidad de estandarizar el proceso del monitoreo continuo de gases contaminantes y partículas producidas por las actividades industriales y energéticas, el Ministerio del Ambiente (MINAM), que implementa y ejecuta la Política Nacional del Ambiente, ha elaborado el "Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones", como una herramienta para proporcionar a los diferentes actores, los criterios para la selección de las metodologías de monitoreo continuo, ubicación de los puntos de monitoreo y operación de los equipos, las auditorías de control que garantizan el aseguramiento de la calidad; así como el procedimiento para la validación de los sistemas CEM.

El monitoreo continuo de gases y partículas en fuentes estacionarias se ha convertido en una necesidad fundamental en países industrializados y aquellos en vías de industrialización, dado que les permite a las industrias el control de las emisiones, evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento utilizado, lo cual les garantizará el cumplimiento de la normativa nacional vigente. Asimismo, permitirá a la autoridad ambiental, evaluar el cumplimiento de los planes, políticas de control y fiscalización ambiental, lo cual conllevará a garantizar que no se exceden los Límites Máximos Permisibles establecidos y por ende, que no haya repercusión en la calidad del aire, que implique sobrepasar los Estándares de Calidad Ambiental, minimizándose de esta forma el riesgo de afectación de la salud de la población.

### 2. ANTECEDENTES

En la actualidad, ciertas actividades productivas cuentan con normativa sobre Límites Máximos Permisibles y Protocolos de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones, establecidos por el sector correspondiente. Los mencionados protocolos, estandarizan el monitoreo de partículas y gases contaminantes, mediante mediciones puntuales; asimismo, señalan la aplicación de otros métodos, los referidos a la EPA 40 CFR parte 60 y parte 75, que consideran la medición mediante los sistemas de monitoreo continuo de emisiones; más los mencionados protocolos, no establecen lo referente al diseño, la implementación y el aseguramiento de la calidad de estos sistemas.

El Ministerio del Ambiente viene desarrollando y actualizando normativa ambiental sobre calidad del aire y emisiones, en forma conjunta con los sectores involucrados, para las diversas actividades productivas; de esta forma, siendo cada vez más diversas las actividades, la composición y volumen de sus emisiones y, la afectación de la calidad del aire; es necesario estandarizar el procedimiento de monitoreo de tipo continuo, dado que proporcionará información confiable sobre la composición, la cantidad y la variación a través del tiempo, de las emisiones de las fuentes fijas a la atmósfera.

### 3. ALCANCE

El Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS) de fuentes estacionarias, se aplicará para la medición continua a tiempo real de las emisiones, estandarizando los sistemas de monitoreo, respecto a la selección y operación de equipos, las metodología de medición, así como los criterios básicos para el diseño e implementación del sistema, el aseguramiento de la calidad de los datos y la validación; que permitan obtener datos confiables, dentro de los límites de aceptación establecidos; así como el reporte final de los resultados de las mediciones, con el fin de vigilar en forma continua, las emisiones a la atmósfera de los diversos actividades industriales y energéticos, para evitar su impacto en el ambiente.

Los sistemas CEM para su implementación, deberán considerar la medición de los contaminantes y los parámetros establecidos por la normativa de emisiones atmosféricas vigente del sector competente y la autoridad ambiental nacional; así como la medición del flujo de gases y de humedad u otros parámetros complementarios, que sean necesarios para el cálculo de la concentración de la emisión.

#### 4. PROPÓSITO

El propósito del protocolo, es poner a disposición de la autoridad ambiental competente, el ente fiscalizador, consultoras, empresas industriales y la población; un instrumento de gestión ambiental que permitirá realizar la vigilancia y el control de las emisiones de las fuentes estacionarias, mediante sistemas estandarizados de monitoreo continuo de emisiones.

#### 5. BASE LEGAL

##### Estándares de Calidad Ambiental de Aire y Reglamentos

- Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, establece el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.
- Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, aprueba el Valor Anual de Concentración de Plomo.
- Decreto Supremo N° 009-2003-SA y Decreto Supremo N° 012-2005-SA; Reglamento de los Niveles de Estados de Alertas Nacionales para Contaminantes del Aire y su modificatoria.
- Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.
- Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación del Estándar de Calidad Ambiental de Aire.

##### Protocolos

- Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI-DM, aprueba el Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas.
- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para actividades Minero Metalúrgicas.
- Protocolo de Monitoreo de calidad de Aire y Emisiones Sub Sector Hidrocarburos.
- Resolución Ministerial N° 194-2010-PRODUCE, aprueban Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas y Calidad del Aire de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos.

##### Normas Ambientales de Emisiones

- Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, aprueba los Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas.
- Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE, aprueba los Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.
- Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM, aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para emisiones de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos.
- Decreto Supremo N° 014-2010 MINAM, aprueba los Límites Máximos Permisibles para las Emisiones Gaseosas y de Partículas de las Actividades del Sub Sector Hidrocarburos.

#### 6. OBJETIVOS

##### 6.1 OBJETIVO GENERAL

- Estandarizar los procedimientos del monitoreo continuo de emisiones en fuentes estacionarias, que comprende la metodología de medición y análisis, estableciendo los procedimientos de control y aseguramiento de la calidad, el registro y la transmisión de datos, para garantizar la confiabilidad y trazabilidad de los resultados.





## 6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los lineamientos técnicos que permitirán a las empresas implementar un sistema de gestión ambiental de control de emisiones, mediante sistemas de monitoreo continuo, que les permita contar con sistemas de alerta y alarma para emisiones que excedan los niveles permitidos, con el objetivo de cumplir con sus compromisos ambientales asumidos, así como medio de mejorar la eficiencia productiva mediante la optimización de recursos, principalmente energéticos.
- Obtener información suficiente bajo la observación continua de la tendencia de la emisión, que permitirá evaluar su comportamiento en función del ciclo productivo y su variación en función del tiempo.
- Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento implementado, de forma de garantizar que no se exceden los Límites Máximos Permisibles establecidos y por ende que no haya repercusión en la calidad del aire, que implique exceder los Estándares de Calidad Ambiental.
- Evaluar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles y obtener información suficiente que permitan su determinación, revisión o modificación.
- Evaluar el cumplimiento de los planes, políticas de control y fiscalización ambiental por parte de la autoridad ambiental nacional, ente fiscalizador y los sectores involucrados en la gestión ambiental de calidad de aire.
- Realizar la vigilancia y el control de la contaminación atmosférica, ocasionada por las emisiones de fuentes estacionarias, minimizándose de esta forma, el riesgo de afectación de la salud de la población.

## 7. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LOS SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES (CEMS)

El diseño de un CEMS es específico para cada fuente estacionaria, debido a que cada fuente emisora puede ser muy diferente de otras, ya que su emisión es propia de la actividad industrial, del proceso productivo, así como condicionado a los parámetros de operación de la chimenea. Es por ello que el CEMS se diseña de forma individual para cada chimenea.

El diseño hace referencia a los equipos necesarios asociados a la medición continua de emisiones, y a los aspectos complementarios para su funcionamiento, de esta forma el CEMS tiene como componentes: sonda y línea de muestreo, analizadores, equipos complementarios tales como medidores de flujo, sistemas de acondicionamiento de muestra (en caso de ser necesario), sistema de calibración, sistema de adquisición y transmisión de datos, además de la infraestructura básica donde se instalará el sistema.

### 7.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros que pueden considerarse para un sistema CEM son varios y van desde material particulado, opacidad, y diversos tipos de gases tales como SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, COV, HT, entre otros. Para la selección de los parámetros se tendrán las siguientes consideraciones:

- Parámetros regulados en las normativas de emisiones.
- Parámetros establecidos en los instrumentos de gestión ambiental, así como los establecidos posteriormente por la autoridad ambiental competente.
- Parámetros que tienen relación con la operatividad del sistema y con los procesos productivos, materias primas, combustible empleado, como medio de mejorar la eficiencia productiva mediante la optimización de recursos, principalmente energéticos.

### 7.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS

Una vez establecidos los parámetros a monitorear, se elegirá la metodología de medición y el equipamiento necesario, considerando los siguientes criterios:

- La metodología de medición de la instrumentación debe ofrecer un cumplimiento riguroso a lo requerido para su validación y durante las auditorías de los CEMS y; deberá proporcionar los resultados de la medición en las unidades establecidas en el estudio ambiental aprobado.
- Las metodologías de medición y los lineamientos considerados en el presente protocolo, se encuentran en relación a lo recomendado por la EPA 40 CFR Parte 60 y Parte 75; en el caso



de los contaminantes, parámetros técnicos y operativos no considerados ni detallados en el presente protocolo, se consideraran las metodologías automáticas continuas y los lineamientos establecidos para ellos, en las mencionadas referencias.

- Las criterios técnicos a considerarse son los siguientes:
  - **Selectividad.-** Mide la capacidad del método para identificar y cuantificar en presencia de otras sustancias un determinado parámetro, no teniendo interferencias de otros componentes presentes que alteren la lectura de la concentración.
  - **Especificidad.-** Indica el grado de interferencia en la determinación.
  - **Exactitud.-** La medida del valor medido debe representar el valor real del parámetro. La prueba de exactitud compara la lectura del instrumento con la del Método de Referencia y estima la incertidumbre de las lecturas.
  - **Límite de detección.-** Es la concentración mínima que puede ser detectada o identificada por el sistema de medición.
  - **Sensibilidad.-** La metodología debe ser sensible a los cambios notables de los valores de la concentración, en el rango de interés del parámetro a analizar.
  - **Precisión y reproducibilidad de las medidas.-** El instrumento debe reportar y registrar lecturas consistentes, cuando repetidamente, analiza una muestra con la misma concentración de partículas.
  - **Tiempo de respuesta de lectura.-** La velocidad de respuesta del instrumento debe funcionar con rapidez frente al cambio de concentración del gas, para graficar fielmente los cambios de concentración del contaminante durante el periodo que está siendo analizado.
  - **Representatividad.-** Los datos obtenidos de los sistemas de medición deben ser representativos de la fuente.

Asimismo, deben ser considerados factores como la disponibilidad inmediata de sensores, consumibles y repuestos, así como la disponibilidad de contar con personal capacitado a nivel local para el mantenimiento del sistema.

### 7.3 INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y OPERATIVIDAD DEL CEMS

La chimenea o ducto debe contar con puertos de toma de muestra con condiciones apropiadas para el anclaje de la sonda. Asimismo, la temperatura exterior de la chimenea no debe poner en riesgo la integridad de los operadores durante la medición con el Método de Referencia y durante el mantenimiento.

La plataforma de trabajo debe estar a una distancia vertical del puerto, que permita la maniobrabilidad del equipamiento durante la instalación, mantenimiento o reparación. Deberá contar con piso y escaleras firmes y antideslizantes. El acceso debe ser fácil y seguro, contando con escaleras y barandas para la seguridad del personal.

El suministro de energía eléctrica debe contar con protección necesaria para evitar los cortos circuitos y choques eléctricos.

La instalación del sistema debe seguir un procedimiento pre establecido, para no obviar ninguna actividad, se deberá considerar lo siguiente:

- Desempaque y verificación de todos los componentes, elementos del sistema, en el lugar de su instalación.
- Elaborar el listado de conformidad de los equipos y el listado de elementos con posibles daños durante el transporte.
- Después de la instalación el titular o propietario del sistema, debe solicitar al proveedor un informe técnico de la instalación, puesta en marcha y operatividad del CEMS instalado que incluirá mínimamente:
  - Los resultados de la calibración realizada.
  - La capacitación impartida y la competencia con que cuenta el personal a cargo del sistema CEM.
  - Incidencias y observaciones durante la puesta en marcha.
  - El estado de operatividad en que se encuentra el sistema.





- Frecuencia de mantenimiento preventivo recomendado.
- El titular o propietario del CEMS, además solicitará al proveedor del sistema lo siguiente:
  - Procedimiento de instalación de componentes y caseta.
  - Procedimiento del montaje y los diagramas de diseño del sistema.
  - Procedimiento de calibración.
  - Procedimiento de activación de la operación del sistema.
  - Especificaciones para el mantenimiento preventivo y la frecuencia recomendada.
  - Listado de fallas más comunes y acciones correctivas.
  - Procedimiento de recolección y transmisión de datos.
  - Procedimiento de desactivación y desinstalación del sistema CEM y de sus componentes. Incluirá el procedimiento de desmontaje, al término de la operatividad de la industria.
  - Manuales técnicos, instrucciones operativas y otros documentos relativos a la operación de los equipos y al mantenimiento.
  - Certificados del CEMS.
  - Lista de repuestos y partes de cambio más frecuente, durante el mantenimiento preventivo.
  - Lista de consumibles.

Los operadores de los CEMS, pueden mejorar la precisión, minimizar el sesgo y el error sistemático de la medición, mediante el establecimiento de los procedimientos adecuados de instalación, operación y control de calidad, siendo que para una mayor comprensión y ayuda podrán tomar como documento de referencia la guía de la EPA "An operators guide to eliminating bias in CEM Systems" que cumple con los requisitos reglamentarios de esa entidad para estos sistemas (<http://www.epa.gov/airmarkets/documents/monitoring/bias.pdf>).

## 7.4 UBICACIÓN DEL SITIO DE INSTALACIÓN Y PUNTO DE MEDICIÓN

### 7.4.1. UBICACIÓN DEL CEMS DE GASES (CEMSG)

La instalación y operación del CEMS de gases (CEMSG), se realizará de acuerdo a lo establecido en la PS-2 del anexo B de la CFR 40 parte 60 y en la CFR 40 parte 75 de la US-EPA y principalmente se consideraran los siguientes criterios:

- 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 mediante corridas con el Método de Referencia, para ser representativas de las emisiones totales de la fuente, o de la sección transversal del lugar de medición.
- El lugar elegido debe ser representativo, de acuerdo a las consideraciones establecidas para la selección del lugar de medición, y debe permitir que el sistema de monitoreo pase la prueba de Exactitud Relativa, que se establece en el numeral 10.1.2.3 de este protocolo.
- Las consideraciones para el lugar de medición del CEMSG son los siguientes:  
Ubicarlo a por lo menos 2 diámetros corriente abajo (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), 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 diámetro corriente arriba (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), del escape de efluentes o algún dispositivo de control.
- Las consideraciones respecto al punto donde se realiza la medición son los siguientes:  
A no menos de 1 metro desde la pared de la chimenea o ducto; o en su defecto dentro del área centroidal (área céntrica) de la sección transversal de la chimenea.
- Los criterios respecto al trayecto de medición del CEMSG son:  
Dentro del área interna, limitado por una línea de 1 metro desde la pared de la chimenea o ducto, o se considerará que por lo menos el 70% del trayecto este dentro del 50% interno del área transversal de la chimenea o ducto; o que este ubicado céntricamente sobre cualquier parte del área centroidal.



FIGURA N°1 UBICACIÓN DEL LUGAR DE MEDICIÓN

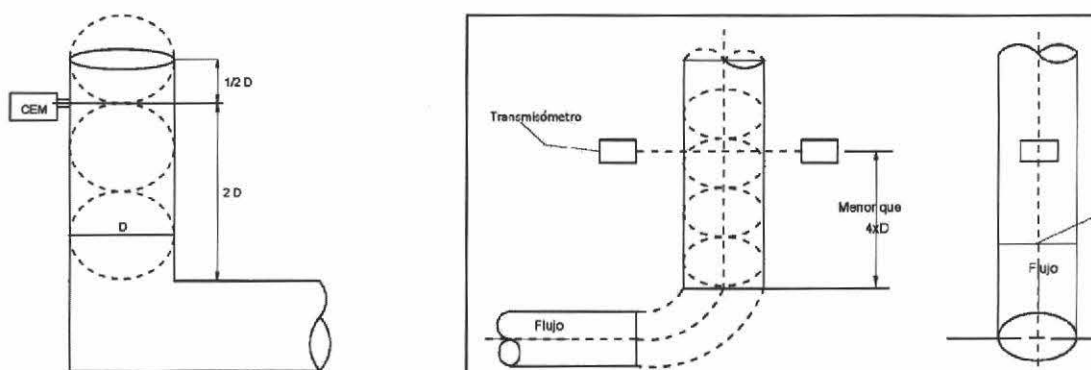
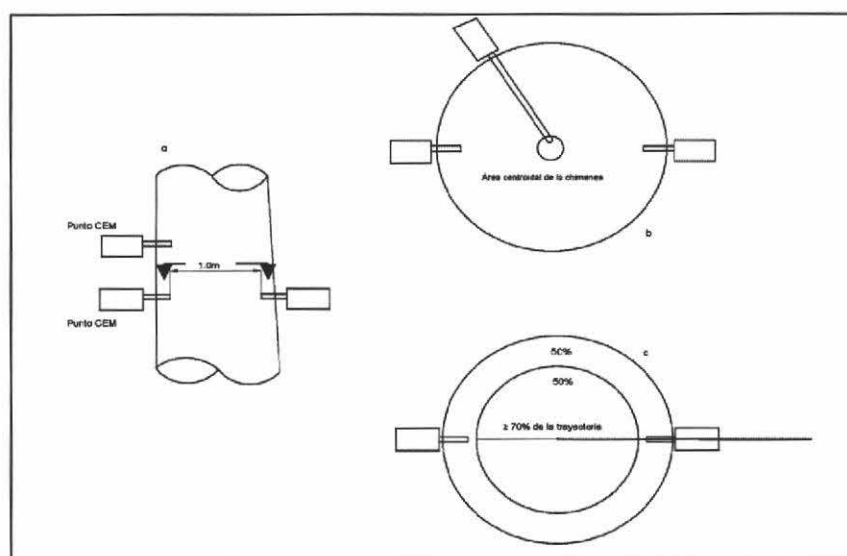


FIGURA N°2 UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN



#### 7.4.2 UBICACIÓN DEL CEMS DE MATERIAL PARTICULADO (CEMS-MP)

La instalación y operación del CEMS-MP se realizará de acuerdo a lo establecido en la PS-11 del anexo B de la CFR 40 parte 60 y principalmente se consideraran los siguientes criterios:

- La ubicación para el muestreo representativo del material particulado, debe seguir lo determinado por el Método de Referencia NTP 900.005, 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.
- Se debe tener especial cuidado para que la ubicación seleccionada minimice los problemas de perturbaciones de flujo, flujo ciclónico y estratificación variable de material particulado (seguir el método NTP 900.001), considerar inclusive aquellas posibles perturbaciones que pudieran presentarse durante la realización de los ensayos y pruebas de los procedimientos de validación y aseguramiento de la calidad.

##### 7.4.2.1 UBICACIÓN DEL CEMS DE OPACIDAD (CEMS-OP)

La instalación y operación del CEMS-OP se realizará de acuerdo a lo establecido en la PS-1 del anexo B de la CFR 40 parte 60 y principalmente se consideraran los siguientes criterios:

- Para la instalación y lugar de medición del CEMS-OP:



- Por lo menos a 4 diámetros de ducto corriente abajo (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), de todo el equipamiento de control de material particulado o perturbación de flujo y; por lo menos a 2 diámetros de ducto corriente arriba (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), de una perturbación de flujo.
  - Donde no haya presencia de vapor de agua condensado.
  - Lugar accesible a fin de permitir realizar mantenimiento.
- Para la selección del camino del rayo de luz:
    - La selección del camino del rayo de luz debe ser tal, que pase a través de la sección centroidal de la chimenea o ducto.

### 7.4.3 UBICACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO

La instalación y operación del medidor de flujo, se realizará de acuerdo a lo establecido en la CFR 40 parte 75, apéndice A de la US-EPA, así como en la NTP 900.001 y; principalmente se consideraran los siguientes criterios:

- La ubicación debe ser mayor o igual que ocho diámetros de chimenea o ducto corriente abajo (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente) y; dos diámetros corriente arriba (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), desde una perturbación de flujo; o de ser necesario, utilizar como alternativa dos diámetros de chimenea o ducto corriente abajo (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente) y; medio diámetro de chimenea o ducto corriente arriba (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), desde una perturbación de flujo.
- Considerar que en la ubicación no existan condiciones de flujo ciclónico (remolino) o estratificación, incluidas aquellas posibles perturbaciones que pudieran presentarse durante la realización de los ensayos y pruebas de los procedimientos de validación y aseguramiento de la calidad.
- En los casos que en la fuente no exista un lugar que cumpla los criterios mínimos físicos especificados para la instalación o emplazamiento, el titular de la fuente podrá proponer un método alternativo para controlar el flujo volumétrico; o en su defecto modificará la chimenea existente o construir una nueva, de forma que permita la implementación de un monitor de flujo.
- En el caso de que el titular de la fuente o propietario del CEMS desee usar un método alternativo para medición del flujo distintos a los descritos en el presente protocolo, informará a la autoridad ambiental competente, en el caso esta adopte el presente protocolo, mediante documento escrito que contendrá mínimamente lo siguiente:
  - La identificación de la fuente de emisión (El nombre debe considerar un código de identificación que debe ser georeferenciado mediante el uso de coordenadas UTM WGS 84 e incluir el dato de la altitud).
  - Detalle de las circunstancias por las cuales no pueden ser cumplidos los criterios mínimos para el ducto o chimenea existente.
  - Descripción del método alternativo propuesto y la metodología en que se fundamenta.
- La implementación del monitor de flujo debe permitir poder alcanzar las especificaciones de rendimiento de los ensayos de validación señalados en el numeral 10.1.2 de este protocolo.

## 8.1 TIPOS DE SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO

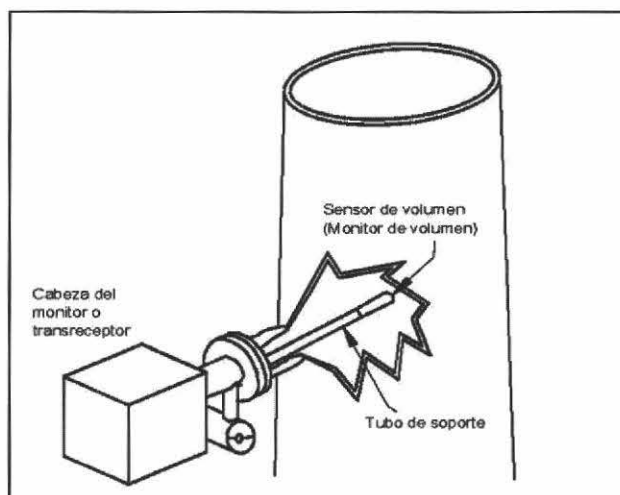
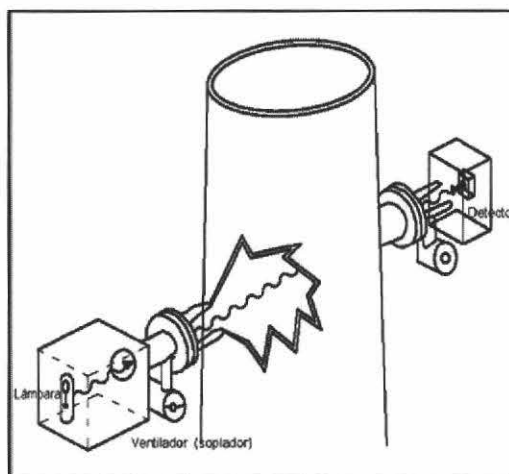
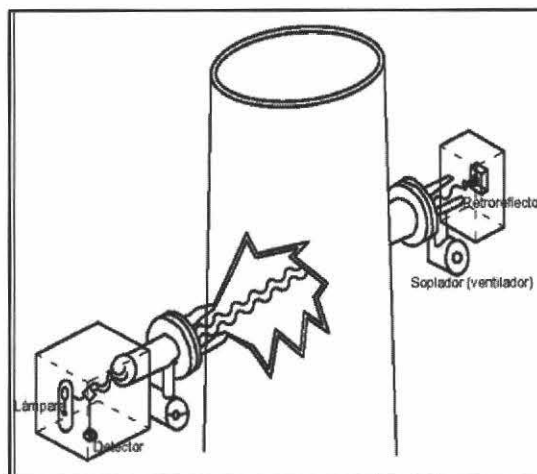
Se clasifican dos tipos de sistemas:

- Sistemas de monitoreo in-situ.
- Sistemas de monitoreo extractivos.

### 8.1.1 SISTEMAS DE MONITOREO IN-SITU

Cuentan con monitores y/o analizadores localizados directamente en la chimenea o ducto. Los sistemas in situ, pueden ser:

- Puntuales (en la chimenea).
- De trayectoria de un paso o de dos pasos (pasa por el área transversal de la chimenea).

**FIGURA N°3 ANALIZADORES IN SITU PUNTUAL (EN LA CHIMENEA)****FIGURA N°4 ANALIZADORES IN SITU DE TRAYECTORIA****De trayectoria de un solo paso****De trayectoria de dos pasos**

Entre los criterios para el uso de sistemas in situ, se deben considerar los siguientes:

- Deben estar protegidos frente a los cambios del clima y soportar tanto las condiciones ambientales, como la intemperie y los gases corrosivos.
- Evitar colocarlos en una zona de vibración o considerar los medios para evitar la incidencia de estos en los resultados.
- El mantenimiento debe poder realizarse a la intemperie.
- La calibración debe poder realizarse durante la operación de la fuente, en el punto de medición, mediante la inyección de gas patrón en la cavidad de la sonda y desplazando el gas de la chimenea.
- Permitir realizar las calibraciones o verificaciones en forma diaria.
- Se debe considerar un filtro, de preferencia cerámico, como prevención del ingreso de material particulado desde la entrada a la cavidad de medición; asimismo implementar una placa deflectora para desviar el material particulado que pudiera ingresar, protegiendo de esta forma la sonda y el filtro de concentraciones elevadas.
- La aplicación del protocolo, no considera el uso de instrumentos de un solo paso, por no poder calibrarse a diario.

Tabla N° 1

**Características de los Sistemas de Monitoreo In Situ**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pocos componentes.</li> <li>• Costo inicial bajo.</li> <li>• Medición rápida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos no preparados para áreas clasificadas.</li> <li>• Limitaciones en el lugar de instalación y para el mantenimiento.</li> <li>• Difícil de reparar y diagnosticar en campo.</li> <li>• Exposición a la intemperie.</li> <li>• Sujeto a vibraciones.</li> <li>• Posible dificultad de usar gases de calibración (paso abierto).</li> <li>• Rangos bajos limitados.</li> <li>• Baja resolución para algunos gases.</li> <li>• Las mediciones son sin acondicionamiento y los resultados solo pueden ser reportados en base húmeda.</li> <li>• Para que el sistema pueda realizar la calibración o verificación en forma diaria, los instrumentos de dos pasos deben incluir un espejo cero y una celda de gas en el transceptor.</li> </ul>

**8.1.2 SISTEMAS DE MONITOREO EXTRACTIVOS**

Estos sistemas realizan el muestreo en la chimenea o ducto, seguido de un acondicionamiento de la muestra, para luego transportarla hasta los analizadores que se encuentran en un área remota protegida a nivel de la planta o chimenea.

Para definir como se realizará la extracción se debe evaluar las características de la emisión, si esta es caliente, si es húmeda, si es coloreada, ya que en este último caso indicará la presencia de material particulado suspendido.

Tabla N° 2

**Características de los Sistemas de Monitoreo Extractivos**

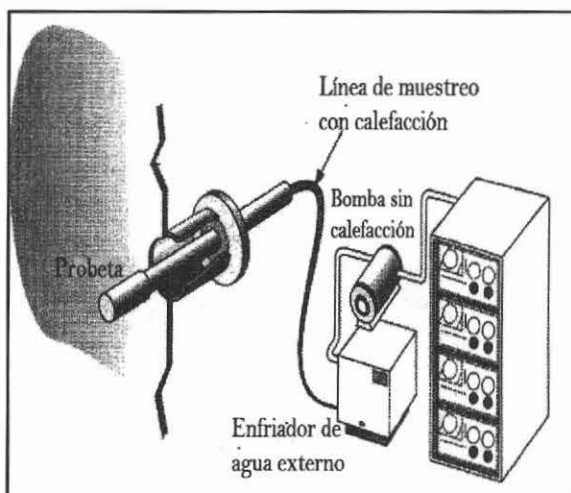
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad en la ubicación del punto de muestreo.</li> <li>• Es versátil, fácil de expandir y modificar.</li> <li>• Es posible el uso de una amplia gama de analizadores.</li> <li>• Permite medir bajas concentraciones.</li> <li>• Acepta gas de calibración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Podría alterar la muestra.</li> <li>• El tiempo de respuesta podría ser lento.</li> <li>• La inversión podría ser alta.</li> <li>• El mantenimiento podría ser frecuente.</li> </ul>

Clasificación de los Sistemas Extractivos:

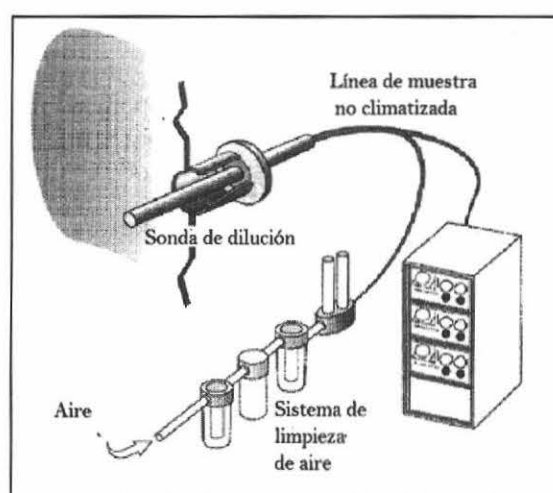
- Completos o directos.
- Con dilución.

**FIGURA N°5 ESQUEMA DE LOS TIPOS DE EXTRACCIÓN**

**Extracción Directa**



**Extracción con Dilución**



### 8.1.3 SISTEMAS EXTRACTIVOS COMPLETOS O DIRECTOS

Se clasifican en:

- Sistemas extractivos completos frío - seco.
- Sistemas extractivos completos caliente - húmedo.

#### a) Sistemas Extractivos Completos Frío - Seco

Este sistema considera el enfriamiento, acondicionamiento de los gases y la remoción de la fracción de agua antes de la medición; el gas debe enfriarse, secarse y limpiarse (mediante filtros) antes de ser introducido a los analizadores.

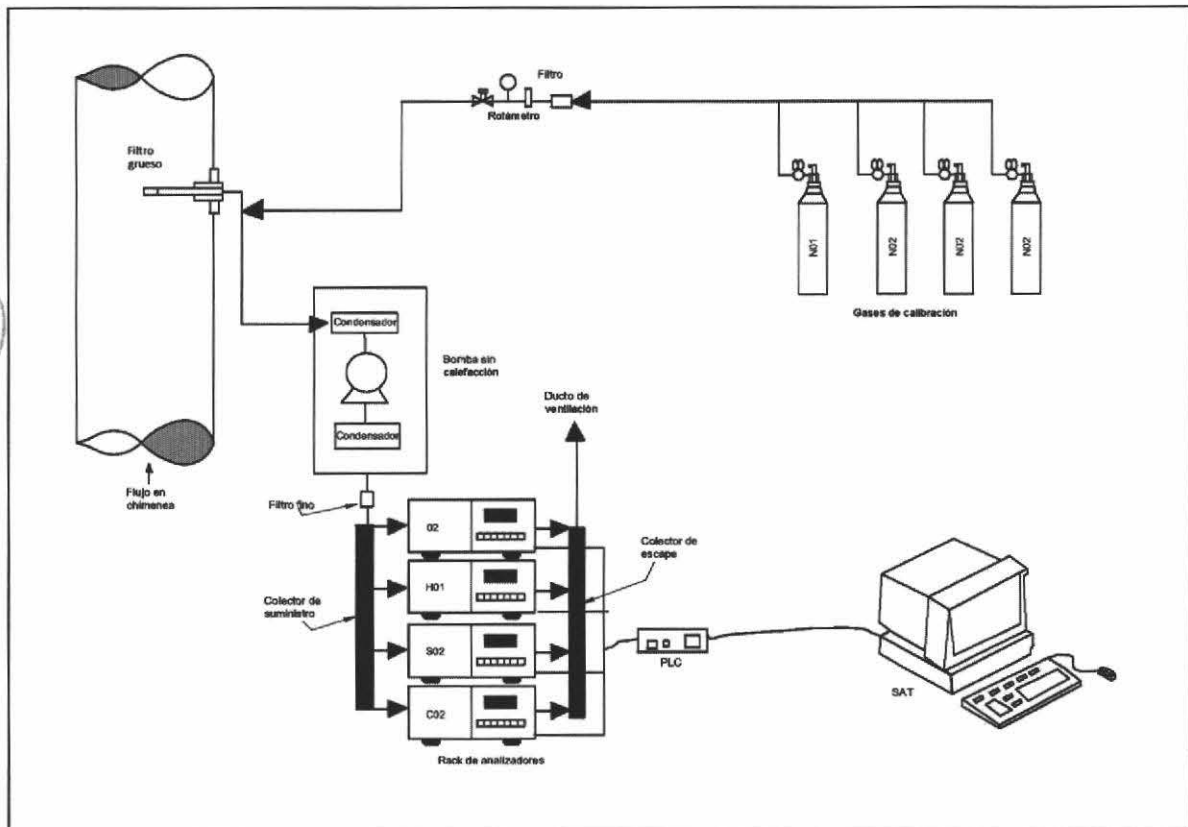
El acondicionamiento de la muestra puede ser en la misma sonda o antes del ingreso al analizador. En el caso de que sea en la sonda, no se requiere que el resto del sistema sea calefaccionado, pero se debe tener la consideración de realizar un mantenimiento diario del sistema de acondicionamiento. El acondicionamiento antes del ingreso al analizador, requiere la calefacción de la sonda y de la línea de muestreo para prevenir la condensación de humedad en el trayecto.

Al condensar la muestra para eliminar el vapor de agua, se debe evaluar si hay pérdidas de gases por arrastre, dependiendo de la solubilidad del gas en el agua (como es el caso del CO).

#### Ventajas:

- Sencillo de implementar y operar.
- Mejor ambiente para el equipo y el personal.
- Menor costo de mantenimiento y sencillo de diagnosticar.
- Permite el uso de varios y diversos analizadores.
- Los cálculos de las emisiones son en base seca.

FIGURA N° 6 CEMS EXTRACTIVO DIRECTO: SISTEMAS FRÍO - SECO



**b) Sistemas Extractivos Completos Caliente - Húmedo**

No remueven la fracción de agua. Miden los gases en caliente por lo que requieren una sonda, línea de muestreo y bomba calefaccionada para evitar la condensación, reteniendo de esta forma, la fracción húmeda de la muestra. La sonda o probeta se encuentra en caja caliente para evitar la condensación del agua, el filtrado de las partículas también se hace en caliente; luego del paso de la muestra por la sonda o probeta, se requiere que la línea continúe caliente por sobre la temperatura de rocío del gas, para ello se debe calentar con generadores eléctricos o vapor y llevar un control de la temperatura cada cierto tramo de línea.

**Ventajas:**

- Tecnológicamente avanzado.
- Sencillo de operar, reparar y mantener.

**8.1.4 SISTEMAS EXTRACTIVOS CON DILUCIÓN**

Se clasifican en:

- Sistemas extractivos con dilución en base seca.
- Sistemas extractivos con dilución en base húmeda.

**a) Sistemas Extractivos con Dilución en Base Seca.**

La humedad es removida y la muestra es diluida. La sonda o probeta de dilución se inserta en la chimenea más la dilución se realiza fuera de ella, se conoce como sonda toma muestra ex-situ. El aire usado para la dilución debe ser limpio y seco.

**b) Sistemas Extractivos con Dilución en Base Húmeda**

La muestra es diluida pero la humedad no es removida del sistema. La sonda o probeta donde se realiza la dilución, es una sonda toma muestra in situ y es diseñada de tal forma que considera tres modos de operación, modo de muestreo, de purga y de calibración.

En estos sistemas la dilución de la muestra promueve lo siguiente:

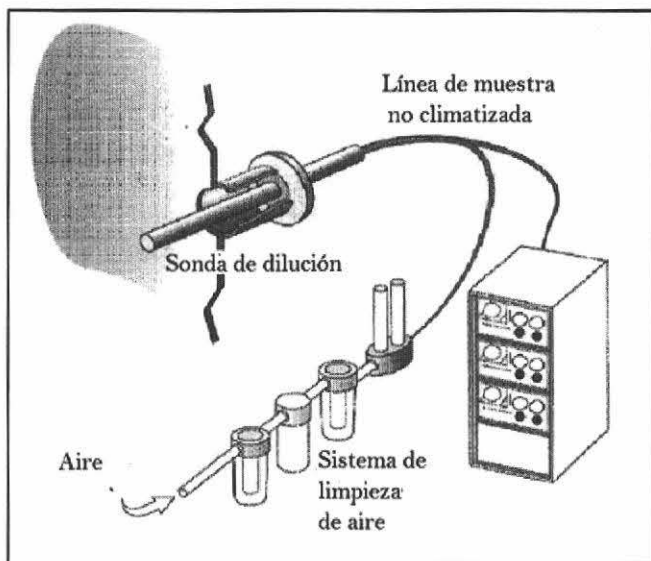
- Reduce la humedad de la muestra, evitando la condensación del agua y la absorción de gases solubles en agua.
- Permite un bajo volumen de muestra, a comparación de los sistemas que realizan acondicionamiento de muestra, lo cual reduce la posibilidad de obstrucción de los filtros.
- Permite el uso de una línea de muestreo sin calefacción, que se utiliza para transportar la muestra extraída hasta el analizador.

**Tabla N° 3****Sistemas Extractivos con Dilución**

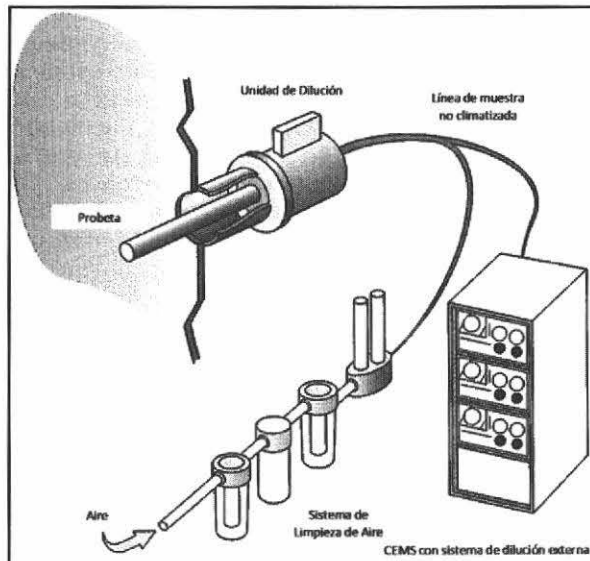
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere pocos componentes.</li><li>• Puede ser usado para medir gases solubles.</li><li>• Bajo costo de mantenimiento.</li><li>• Aplicable a muestras con mucha humedad y material particulado.</li><li>• Permite el uso de varios analizadores.</li><li>• Reduce al mínimo las propiedades corrosivas de la muestra.</li><li>• Larga vida útil de los equipos, incluyendo filtros.</li><li>• Capacidad de usar una amplia variedad de analizadores.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esta limitado por el rango de los analizadores.</li><li>• La tasa de dilución depende de la presión y masa de los gases.</li><li>• Si la concentración de los gases emitidos es muy baja, al diluir se hará más pequeña por lo que correría el riesgo de que el analizador no pudiera detectarlo.</li><li>• Requieren de un gas dilutor libre de los componentes que se desean medir y libre de componentes que generen una interferencia cruzada.</li></ul>

FIGURA N° 7 SISTEMAS EXTRACTIVOS CON DILUCIÓN

## CEMSG con Dilución en la Sonda



## CEMSG con Dilución Externa



## 8.2 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO

Los componentes a considerar en el caso del CEMS de tipo extractivo son los siguientes:

- Sonda de muestreo (Probeta).
- Línea de transporte de muestra (Umbilical).
- Sistema de acondicionamiento de muestra.
- Bombas de muestreo.
- Sistema de analizadores.
- Sistema de adquisición, tratamiento y comunicación.
- Casetas.

Para el caso de los CEMS de tipo in situ que se encuentran considerados en el protocolo, como son los puntuales y de trayectoria de dos pasos, consideraciones generales se mencionan en el numeral 8.1.1; asimismo para la elección de la metodología, configuración del sistema, instalación, operatividad, control de calidad, entre otros, aplican todos los numerales del protocolo; además para mejorar la precisión, minimizar el sesgo y error sistemático de la medición, se podrá tomar como un documento de referencia la guía de la EPA "chapter 4 sources of bias in in-situ monitoring systems", que cumple con los requisitos reglamentarios establecidos por esa entidad, para este tipo de sistemas (<http://www.epa.gov/airmarkets/documents/monitoring/bias4.pdf>).

## 8.2.1 Sonda de Muestreo (PROBETA)

Según el sistema a implementar, la sonda o probeta a usar, puede ser de tipo simple o con dilución.

## a) Sonda Simple:

- Debe contar al menos con un filtro para la retención de material particulado grueso, asimismo 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 corriente de gas); para desde ahí, 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 de Dilución:**

- Se utilizan en los sistemas de monitoreo extractivos con dilución.
- El montaje de la sonda o probeta se hace en la chimenea o ducto, debe estar diseñada para acoplarse a la línea umbilical.
- En el caso que se requiera contar con el resultado de la concentración de oxígeno (por ejemplo para la determinación de CO<sub>2</sub> y la eficiencia de la combustión), el sensor puede estar integrado en la sonda o probeta.

### 8.2.2 LÍNEA DE TRANSPORTE DE MUESTRA (UMBILICAL)

La línea de transporte de muestra o línea umbilical, conduce la muestra desde la probeta de la chimenea hasta el sistema de acondicionamiento de la muestra o a los analizadores, mantiene la muestra sobre el punto de rocío del gas, impide la condensación de la humedad e impide la dilución de los gases en el agua presente.

La línea de transporte de muestra se compone de un paquete o umbilical de líneas de muestreo, cables, entre otros. Una configuración típica de umbilical contiene la línea de muestreo misma, líneas para el gas de calibración, líneas de aire comprimido, para flujo reverso y líneas de poder para cualquier equipo eléctrico en la chimenea. Los componentes de la línea de transporte de muestra deben estar encerrados en una capa de aislamiento inerte, resistente a la abrasión y retardante de llamas, envuelto con un elemento de calefacción y encerrados en una cubierta protectora externa.

El recorrido del umbilical deberá ser diseñado para prevenir la acumulación de humedad en la línea de muestreo, para ello debe ser calefaccionada hasta el sistema de extracción de humedad, para evitar la condensación. La temperatura de calefacción es usualmente 120°C o a una temperatura similar a la de los gases de la chimenea. Se debe contar con sensores de temperatura a lo largo de línea de muestreo.

Las líneas de muestreo son hechas generalmente de PFA teflón, debido a su inercia química, si se requieren medir a temperaturas más altas, superiores a los 250°C, puede usarse acero inoxidable.

### 8.2.3 SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRA

El sistema de acondicionamiento de la muestra deberá incluir todos los componentes necesarios y accesorios requeridos (tubos, válvulas, enfriadores, drenajes, purgas y limpieza, filtros, entre otros), para acondicionar la muestra no tratada hasta una condición adecuada para su ingreso a los analizadores de gases. El principal acondicionamiento, es la remoción de la humedad de la corriente de gas; asimismo filtra el material particulado fino, regula los flujos, controla la temperatura de la sonda y manguera, e incorpora la bomba de muestreo.

El CEMS incluirá las alarmas que monitorearan la operación del acondicionamiento de la muestra, para que no excedan los límites especificados como flujo, temperatura, presión, contenido de humedad y dispositivo de remoción de componentes que interfieran en el análisis.

Los materiales utilizados deberán ser inertes a los gases de la emisión.

Se puede considerar cualquiera de los siguientes sistemas:

- Condensador refrigerado.
- Enfriadores termoeléctricos o de efecto Peltier (elimina hasta 50% de humedad, trabaja con flujos de hasta 10 litros).
- Sistemas con doble condensado (remueve la humedad del sistema mediante un chiller secundario bajo presión positiva).
- Condensador en corriente a chorro o jet.
- Secadores por difusión o permeabilidad selectiva (retiene hasta 75% de agua, trabaja con flujos de hasta 25 litros/minuto, sin pérdida de gases a medir).

#### 8.2.4 BOMBA DE MUESTREO

Es una bomba de paso simple de la muestra, se incorpora al sistema de acondicionamiento, se instala en la línea de muestreo después del enfriador, permitiendo que maneje una muestra fría y seca. La bomba de muestreo es una parte integral de los sistemas de tipo monitoreo extractivo, se pueden utilizar: bombas de diafragma, bomba impulsora o eyector Venturi.

Las consideraciones para la bomba son las siguientes:

- Debe ser capaz de abastecer de suficiente muestra a los analizadores.
- Debe ser diseñada para que no haya infiltración del aire del ambiente dentro de la corriente de muestra.
- Debe ser inmune al ataque de los gases de chimenea.
- Debe ser capaz de resistir altas temperaturas.
- No deben ingresar contaminantes a la muestra de gas como aceites lubricantes, sellantes, entre otros.

#### 8.2.5 SISTEMAS DE ANALIZADORES

Los analizadores tienen diversas metodologías de detección de gases, miden la propiedad física, química o electromagnética de una sustancia o elemento dado. Los métodos considerados para los analizadores, incluyen al menos cuatro componentes (excepto para los métodos electro analítico) siendo estos:

##### a) Fuentes de Radiación

Cuentan con una fuente de radiación que genera una luz en un campo cercano, que es irradiada a través del gas analizador y es recibida por el detector. La longitud de onda de luz esta sintonizada con una línea de absorción específica del gas a medir, la fuente de radiación muestra en forma continua, esta línea de absorción única cuya forma y capacidad de absorción se analiza.

##### b) Limitadores Espectrales

Este componente hace que el equipo mida un único componente del gas, a partir de la capacidad de absorción de una única línea de absorción molecular espectral, la absorción tiene lugar por la transformación de la energía irradiada de la luz a energía interna de la molécula.

##### c) Componentes Ópticos

Sensores de luz transmitida, se compone de una unidad transmisora y otra receptora. La unidad transmisora está conectada a la fibra óptica que transporta la luz, para direccionar y enfocar la luz, se usan lentes, orificios y diafragmas para enfocar la luz hacia la cámara de análisis y sobre el detector; cuenta con espejos semiplatedados para dividir el haz de luz, desviando parte al sistema de análisis de medición y parte a la referencia; cuenta asimismo con cortadores de luz a motor o electrónicos que se emplean para producir una oscilación de la fuente de luz y espejos para producir una señal cero (en monitores in-situ).

##### d) Detectores

La unidad receptora contiene un foto detector y una tarjeta electrónica de circuito impreso y está conectada a la unidad transmisora, mediante un cable de conexión de sensores, para capturar y traducir el efecto creado por el gas contaminante en el sistema analítico. En el receptor la luz se conduce a un detector adecuado, a continuación, la señal del detector se transforma en una señal óptica y se transmite a través de una segunda fibra óptica a la unidad central, donde se calcula la concentración de los componentes del gas según la señal de absorción.

#### 8.2.6 CASETA DEL CEMS

La caseta es una cabina que contendrá los analizadores, datalogger, calibradores entre otros, debe ser dispuesta sobre una losa adecuada de concreto. Deberá tener un ancho mínimo de 2.5 metros y una altura mínima de 2.2 metros.



**Características de las Casetas:**

- Los materiales para su construcción no deben verse afectados por las reacciones químicas de gases, deben contar con sellado contra agua y ser resistentes a la corrosión. Asimismo deben ser diseñadas de forma de controlar las vibraciones y la luminosidad excesiva sobre los instrumentos.
- La caseta deberá contar con aislamiento exterior termo acústico rígido.
- El espacio interior la caseta debe ser tal que permita las labores rutinarias y de mantenimiento de los equipos.
- La caseta debe albergar el espacio para el equipo de comunicaciones, mesa de trabajo para el operador, tablero de interruptores y regulador de voltaje, etc.
- Deberá contar con sistema de ventilación y aire acondicionado, para mantener las condiciones operativas óptimas recomendada por los fabricantes de los equipos, así como favorecer la generación de presión positiva, que evite el ingreso de material particulado al interior de la caseta.
- Las casetas deben tener control de la temperatura, presión y humedad. La temperatura interior debe ser estándar de 20 a 25°C y la humedad relativa debe ser inferior a 60%.
- En el diseño de la caseta, debe considerarse el lugar apropiado para el equipamiento de calibración, incluidos los cilindros de gases, los cuales deben ubicarse bajo techo en un costado de la caseta, sobre piso, protegidos y considerando todas las medidas de seguridad y prevención en caso de fuga de los mismos.
- Deberá contar con sensores de alerta en el caso de fuga de gases, especialmente aquellos peligrosos para la salud o de tipo inflamables.
- El suministro eléctrico debe ser con circuitos diferentes y separados para procesamiento data - comunicación, sistema de muestreo y medición, aire acondicionado, ventilación - iluminación. Además debe estar protegido frente al exceso de voltaje.
- El suministro eléctrico y la puesta tierra será permanente.
- Tener acceso a las comunicaciones por lo menos vía internet.
- El acceso debe ser limitado solo a personal autorizado, considerar protección mediante cerraduras y mallas de seguridad.
- En el caso de casetas instaladas en industrias petroquímicas, estas deben ser explosion proof, clase 1 división 2.

**Tabla N°4****Característica de la Caseta CEMS**

Infraestructura / Mobiliario	Componentes
<b>Características de Construcción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plancha de acero galvanizado, con pintura epóxica y esmalte blanco.</li> <li>• Vigas y travesaños de acero electro soldado.</li> <li>• Paredes y techo con estructura laminada y hermética.</li> <li>• Piso de madera o vinílico.</li> <li>• Puertas y ventanas con perfiles de aluminio anodizado.</li> <li>• Instalaciones eléctricas a 110V ó 220V, con tableros eléctricos, interruptores termo magnéticos e iluminación interior.</li> <li>• Sistema de aire acondicionado.</li> </ul>
<b>Mobiliario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesa de trabajo.</li> <li>• Gabinete o rack de analizadores.</li> <li>• Hardware (computadora/impresora, etc).</li> <li>• Software.</li> <li>• Tablero eléctrico.</li> </ul>

## 9 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DEL CEMS

La medición de la concentración de los gases, del material particulado y parámetros operativos como flujo, presión, temperatura, involucra una variedad de instrumentación, la selección de los instrumentos de medición, debe tomar en cuenta las posibles interferencias en las mediciones, configuraciones del equipo a medir, condiciones de los gases de emisión, rangos de concentración o emisión de material particulado, entre otros.

### 9.1 METODOLOGÍAS PARA GASES

**Tabla N°5**  
**Metodologías para Análisis de Gases In Situ**

Analizadores Puntuales	Analizadores de Trayectoria
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos ultravioleta.</li> <li>• Espectroscopía de segunda derivada.</li> <li>• Métodos electroanalíticos.</li> <li>• Polarografía.</li> <li>• Electrocatálisis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos infrarrojos.</li> <li>• Absorción diferencial.</li> <li>• Correlación de filtro de gas.</li> <li>• Métodos ultravioleta.</li> <li>• Modulación de luz visible.</li> </ul>

**Tabla N °6**  
**Metodologías Analíticas usadas en los CEMSG Extractivos**

Método	Principio del Método
Métodos infrarrojos.	Absorción diferencial. Correlación filtro de gas. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier.
Métodos por luminiscencia.	Fluorescencia (SO <sub>2</sub> ). Quimiluminiscencia (NO <sub>x</sub> ). Fotometría de llama (SO <sub>2</sub> ).
Métodos ultravioleta.	Absorción Diferencial.
Métodos Electroanalíticos.	Polarografía. Electrocatálisis (O <sub>2</sub> ). Paramagnetismo (O <sub>2</sub> ). Conductividad.



#### 9.1.1 MONITORES FOTOANALÍTICOS

Estos instrumentos de medición promueven que la propiedad fotoquímica y fotofísica de algunos componentes de los gases, absorban o emitan luz, en una longitud de onda específica, la cual es convertida en concentración. En el medio hay varios tipos de analizadores, para la mejor selección, es necesario conocer el principio de medición y que este se ajuste a la necesidad de cada generador de emisiones en el momento de la selección. Además, es necesario que el método sea selectivo, evite interferencias y sea estable frente a los factores ambientales en donde se ubican.



**Tabla N° 7**

#### Tipos de Instrumentación y Metodologías para Medición de Gases

Nombre del Método	Gases a Analizar	Descripción
NDIR (Infrarrojo No Dispersivo)	SO <sub>2</sub> , NO, CO, HT, CO <sub>2</sub> , HCl, N <sub>2</sub> O, Vapor de Agua	Cada molécula absorbe radiación infrarroja a una frecuencia característica y propia de la molécula. Se aplica la ley de Beer en donde la absorbancia de la molécula es directamente proporcional a su concentración. Solo un componente puede ser analizado y las interferencias no pueden ser compensadas.



GFC (Correlación de Filtro de Gas)	CO, CO <sub>2</sub> , HCl, N <sub>2</sub> O.	El principio del método de medición se basa en la absorbancia del gas en la escala del infrarrojo, mediante el uso de una celda de filtros de correlación de gases. Las interferencias son eliminadas mediante algoritmos matemáticos.
NDUV (Ultravioleta No Dispersivo)	O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> y ocasionalmente NO.	El método utiliza la luz ultravioleta, en el espectro ultravioleta cercano. La luz es detectada por un tubo fotomultiplicador, que produce un voltaje proporcional a la intensidad de la luz, la cual a su vez, es traducida a concentraciones de SO <sub>2</sub> por medio de factores de calibración.
Fluorescencia Ultravioleta	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, TRS	El método detecta la luz o fluorescencia característica de la molécula, cuando es irradiada con luz ultravioleta. La luz es detectada por un tubo fotomultiplicador que produce un voltaje proporcional a la intensidad de la luz, la cual a su vez, es traducida en concentración.
Fluorescencia Atómica	Hg	El método cuantifica el mercurio total en la fase de vapor presente en el gas de combustión, que representa el total del Hg elemental y sus formas oxidadas; para la medición, la muestra debe ser fría y se cuantifica la intensidad de radiación dispersada.
Quimiluminiscencia	NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> y NH <sub>3</sub>	Se basa en la medición de la radiación producida al reaccionar el óxido de nitrógeno (NO) con el ozono (O <sub>3</sub> ) para formar NO <sub>2</sub> . Para medir el NO y NO <sub>2</sub> , se debe reducir el NO <sub>2</sub> a NO por catálisis y eliminar el agua para evitar la absorción del NO <sub>2</sub> .
Fotometría UV	Ozono (O <sub>3</sub> )	Consiste en medir la cantidad de luz ultravioleta, absorbida por el ozono presente en una muestra, la cual se compara con la cantidad de luz medida en la celda de referencia para calcular la concentración.
Espectrofotometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTI)	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HCl, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, HCN y O <sub>2</sub>	La metodología se basa en la absorción de luz por parte de la molécula del gas en la escala del infrarrojo, mediante un algoritmo matemático con el cual se puede determinar una molécula específica. Se analiza en todo el espectro infrarrojo, de esta forma todos los componentes pueden ser analizados en una sola medición y las interferencias pueden ser eliminadas.

### 9.1.2 CROMATOGRAFÍA DE GASES (CG) CON DETECTOR POR IONIZACIÓN DE LLAMA (FID)

Esta técnica es usada para el análisis de emisiones de hidrocarburos totales (HT), hidrocarburos metánicos y no metánicos; el sistema cuenta con un detector de ionización de llama (FID), que es un tipo de detector universal para compuestos orgánicos.

En la cromatografía de gases la fase móvil es un gas, la muestra es separada en una columna de separación con fase estacionaria, durante el análisis los compuestos orgánicos se pre concentran en un módulo de enriquecimiento de una sola etapa, posteriormente los componentes a ser analizados se transferirán a la columna de separación por medio de la técnica de desorción térmica. El volumen de aire se mide con precisión a través de un sensor de flujo de masa térmica, el cual se referirá a las condiciones estándar. Al salir de la columna la muestra separada entra al detector de ionización de llama (FID), que es sensible a los compuestos de hidrocarburos. Todas las mediciones del detector generan señales eléctricas que son amplificadas y registradas en la pantalla, la altura de los picos de los componentes del gas, se representan mediante cromatogramas, los cuales luego serán expresados como concentraciones.

Tabla N° 8

## Tipos de Instrumentación y Metodologías para Medición de Gases

Nombre del Método	Gases a Analizar	Descripción
Detector de Ionización de Llama (FID)	HT COV	Las moléculas de carbono orgánico son ionizadas en una llama de Hidrógeno - Helio. La concentración queda determinada por el flujo entre los electrones originado por la nube ionizada. Utiliza el detector de ionización de llama para cuantificar los gases y vapores orgánicos.

## 9.1.3 FLUORESCENCIA ATÓMICA PARA LA MEDICIÓN DE MERCURIO

El sistema es basado en dilución, con un diseño especial de la probeta con filtro inercial, se genera un vacío que permite la succión y el retorno continuo de la muestra a la chimenea. La medición es directa y la conversión seca se hace en la probeta.

La instalación, operación y calibración del equipo para medición de mercurio, se realizará de acuerdo a lo establecido en la PS-12A del anexo B de la CFR 40 parte 60.

## 9.1.4 MÉTODOS MAGNÉTICOS

Los instrumentos de monitoreo se basan en principios magnéticos para determinar la concentración de los gases, midiendo el comportamiento del gas en un campo magnético. La propiedad paramagnética de los gases tales como O<sub>2</sub>, NO y NO<sub>2</sub>, de ser atraídos a un campo magnético, es cuantificada y reportada como concentración. En los monitores de oxígeno que son utilizados en los CEMSG de tipo extractivo, debe ser removida el agua y el material particulado antes del análisis.

Tabla N° 9

## Metodología de Análisis Magnéticos

Nombre del Método	Gas a Analizar	Descripción
Instrumentos Termomagnéticos	O <sub>2</sub>	El principio se basa en el decrecimiento del paramagnetismo del oxígeno por incremento de la temperatura. El oxígeno de la muestra es atraído a un campo magnético, donde es calentado en un tubo por un espiral calefaccionado, el cual se enfría debido a este flujo y provoca una disminución de la resistencia eléctrica de la espiral. Para esta medición la conductividad térmica de los gases debe ser constante; por lo tanto, la composición de los gases también será constante. Son utilizados en sistemas extractivos.



Instrumentos Magneto dinámicos	O <sub>2</sub>	La técnica modifica el campo magnético del O <sub>2</sub> . La presencia de O <sub>2</sub> altera el campo magnético, lo que provoca el giro de una balanza diamagnética, debiéndose aplicar una corriente restauradora que crea un campo electromagnético en dirección opuesta, que restaura la balanza a su posición de referencia. La corriente aplicada es proporcional a la concentración de oxígeno. Son utilizados en sistemas extractivos.
Instrumentos Magneto Neumáticos	O <sub>2</sub>	El método promueve la variación de presión de la muestra, debido a la acción de un campo magnético externo sobre el oxígeno componente. Al aplicar un campo magnético, este gas es atraído hacia una determinada zona del campo, incrementando la presión en ese punto. Si dos electroimanes son excitados alternativamente, los incrementos de presión pueden ser convertidos en señales eléctricas a través de un condensador de membrana móvil y la amplitud de esta señal será proporcional a la concentración de O <sub>2</sub> .

## 9.2 METODOLOGÍAS PARA PARTÍCULAS

Material particulado es el término utilizado para definir el conjunto de todas las partículas que se emiten a la atmósfera, pudiendo estar conformada por presencia de carbono, cenizas volátiles, partículas de la materia prima y material inorgánico como arena, arcilla, entre otros. Existe una correlación entre la opacidad y el material particulado, actualmente existen tecnologías que nos permiten cuantificar directamente, el material particulado emitido por la chimenea

El funcionamiento del CEMS-MP, se realizará de acuerdo a lo establecido en la PS-11 del anexo B de la CFR 40 parte 60 y principalmente se consideraran los siguientes criterios:

- Acondicionamiento de muestra, que puede incluir la calefacción de la misma.
- Si el CEMS-MP es de tipo extractivo y el caudal volumétrico del gas emitido, varía sobre un 10% del valor nominal, se deberá mantener las condiciones de isocinetismo dentro del 10%.
- Debe ser configurado para medir dentro del rango esperado de emisión de la fuente.
- Debe ser capaz de ejecutar chequeos de margen de error de cero y escala superior, preferiblemente de manera automática.
- Si el CEMS-MP es extractivo, que mide el volumen de muestra y lo usa como parte del cálculo del valor de salida, debe ser capaz de efectuar un chequeo del volumen de muestra para verificar la precisión del equipo de medición.
- El chequeo del volumen debe realizarse diariamente, así como la tasa de muestreo normal para el CEMS-MP.
- Se requerirán estándares o procedimientos de referencia para ejecutar el chequeo de margen de error en cero, dentro del 20% del rango de respuesta del CEMS-MP, el chequeo de margen de error de escala superior, entre el 50% y el 100% del rango de respuesta del CEMS-MP o bien entre 12 - 20 mA y; el chequeo del volumen de muestra.

Los instrumentos a ser utilizados para la medición de material particulado (MP) pueden ser de variados tipos, considerándose entre ellos a los siguientes:

- Opacímetros.
- Opacímetro dinámico (centelleo óptico).
- Electrodinámica.
- Dispersión de luz.
- Atenuación beta.

Otros instrumentos a ser utilizados, deberán cumplir todas las consideraciones establecidas en el protocolo.

### 9.2.1 OPACÍMETROS

El método mide la atenuación (transmitancia) de un haz de luz, al pasar a través de un flujo de gas conteniendo material particulado en suspensión. Mientras mayor sea la cantidad de material particulado en el flujo de gas, menor será la transmisión del haz de luz. La medición es in situ, en el mismo ducto.

**Tabla N° 10**  
**Características de los Opacímetros**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Relación directa con el método Ringelmann.</li><li>• Admite velocidades variables.</li><li>• Aplicable a chimeneas de grandes diámetro.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Normalmente para ductos de 2 metros como mínimo, salvo modificaciones en el diseño.</li><li>• Solo condiciones secas.</li><li>• Puede haber contaminación del lente.</li><li>• La calibración es afectada por el tamaño de partícula y el material.</li><li>• Requiere de fuente de aire.</li><li>• Puede ocurrir desalineación.</li><li>• Vibraciones.</li><li>• Luz espúrea.</li><li>• Se debe realizar mantenimiento frecuente.</li></ul>

### 9.2.2 OPACÍMETROS DINÁMICOS (CENTELLEO ÓPTICO)

El método mide la variación temporal de la intensidad de un haz de luz transmitido a través de la chimenea. Esta variación de la intensidad deriva de las variaciones estadísticas en la distribución de partículas dentro del flujo de aire, de forma que cuanto mayor sea la concentración de partículas, mayor es el rango de variación. El método es particularmente apropiado para chimeneas grandes, relativamente secas.

**Tabla N°11**  
**Características de los Opacímetros Dinámicos**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Velocidades variables.</li><li>• Apropiado para diámetros de chimeneas de hasta 10 metros.</li><li>• El cero es fijo, no se necesitan filtros frente de la fuente de luz, debido a que si no hay polvo, no se produce el centelleo.</li><li>• Es menos afectada por la contaminación del lente.</li><li>• Es menos afectada por el desalineamiento del lente.</li><li>• La detección mínima es de 2.0 mg/m<sup>3</sup>.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aplicable a ductos de 0.6 metros como mínimo.</li><li>• Solo bajo condiciones relativamente secas.</li><li>• Requiere mantenimiento moderado.</li><li>• La calibración es afectada por el tamaño de las partículas y el tipo de material.</li></ul>

### 9.2.3 ELECTRODINÁMICOS

Es una tecnología de respuesta de frecuencia. La señal de medición es derivada de las partículas cargadas que interactúan con el sensor, tanto las que chocan como las que pasan en las cercanías. La señal generada es procesada a una frecuencia de banda específica, que es proporcional a la concentración de masa y elimina la interferencia mecánica, eléctrica y electromagnética.



**Tabla N°12**  
**Características de los CEMS-MP Electrodinámicos**


<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se utiliza en ductos desde 0.6 m. hasta 6 m.</li><li>• El límite de detección es de 0.01 mg/m<sup>3</sup>.</li><li>• La sonda aislada permite medir en procesos húmedos y secos.</li><li>• El montaje es en un solo punto.</li><li>• Virtualmente no es afectada por la velocidad (para tamaño de partículas bajo 50 µm.)</li><li>• No se ve afectada por acumulación de polvo en sonda.</li><li>• Si el polvo es húmedo o conductivo, no se produce cortocircuito.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Restringida a diámetros hasta 6 metros.</li><li>• Se ve afectado por pre-carga de precipitadores electrostáticos.</li><li>• Las gotas de agua alteran la medición.</li></ul>

#### 9.2.4 DISPERSIÓN DE LUZ (LIGTH SCATTERING)


Las partículas ingresan a una cámara óptica, una fuente luminosa emite un haz de luz la cual es dispersada por la presencia de las partículas. Esta luz dispersada es capturada por el detector y, la cantidad registrada es comparada bajo la base de una calibración primaria, con un estándar de calibración gravimétrico.

En esta tecnología, la respuesta óptica no es muy exacta para cargas altas de partículas; la concentración de las partículas tiende a variar con el perfil y el tamaño de las mismas, por lo que es necesario contar adicionalmente a esta, con otra tecnología de corrección automática, de tal forma que trabaje como un sistema híbrido.

Las características de los monitores de dispersión de luz son las siguientes:

- 
- No cuenta con partes móviles críticas.
  - El chequeo de Span valida la óptica/electrónica en la posición actual de medición.
  - Rangos de temperatura de muestra altos (hasta 400°C).
  - Sin fibras ópticas (envejecen con la temperatura).
  - Gran área efectiva de detección (mejora la sensibilidad y estabilidad).
  - Permite variar su posición en la chimenea, de modo que es posible instalarlo en la mejor ubicación respecto al flujo de muestra.

**Tabla N°13**  
**Característica de los CEMS-MP de Dispersión de Luz**



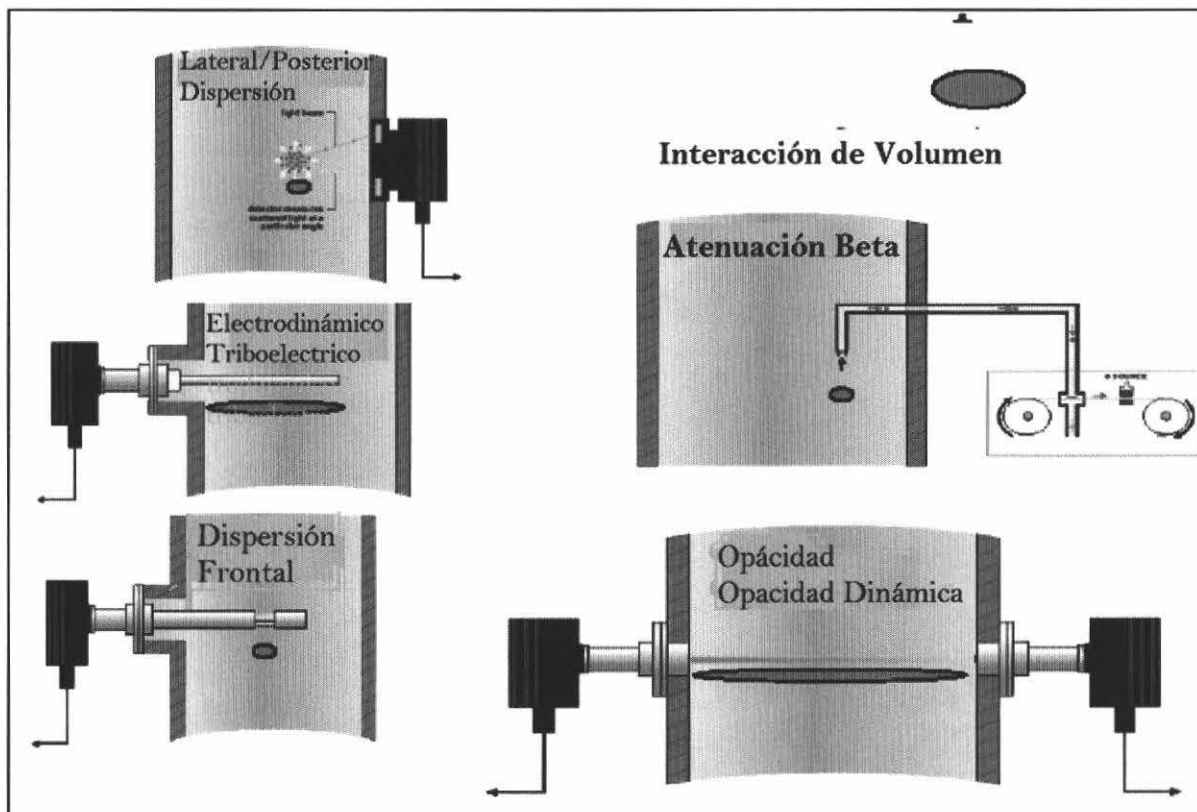
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil de instalar.</li><li>• Bajo mantenimiento.</li><li>• Sensible a bajas concentraciones de material particulado.</li><li>• La respuesta óptica es muy rápida.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La medición de la masa es en forma indirecta.</li><li>• Se ve afectada por el tamaño, densidad y forma de la partícula.</li><li>• Las gotas de agua pueden interferir en la medición.</li><li>• Requiere correlacionarse con el Método de Referencia.</li><li>• La respuesta óptica no es muy exacta, mejora si se usa simultáneamente con otra tecnología, de tal forma que trabaje como un sistema híbrido.</li></ul>

#### 9.2.5 ATENUACIÓN BETA

- El analizador de atenuación de radiación beta colecta las partículas suspendidas que se encuentran en la muestra y son llevadas a flujo continuo, a una cinta o carrete continuo; el cálculo del peso de las partículas se realiza, mediante la medición de la variación o atenuación de la transmisión de los rayos beta por las partículas colectadas, dado que la

atenuación de los rayos beta es proporcional al incremento de la masa (Ley de Lenard). La ventaja es que el sistema requiere poco mantenimiento y cuenta con bajo costo de operación.

**FIGURA N°8 COMPARACIÓN DEL VOLUMEN DE MUESTREO EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO**



**9.3 OTROS PARÁMETROS**

**9.3.1 MEDIDORES CONTINUOS DE LA VELOCIDAD**

Se utilizan cuando se requiere obtener las emisiones en masa de un flujo de gas en una chimenea, permite expresar las mediciones de concentración de gases en unidades de masa/tiempo (kg/hora, ton/día, entre otros).

En la Tabla N°14, se indican algunas metodologías de Medición de Flujo.

**Tabla N° 14  
Métodos de Medición de Flujo**

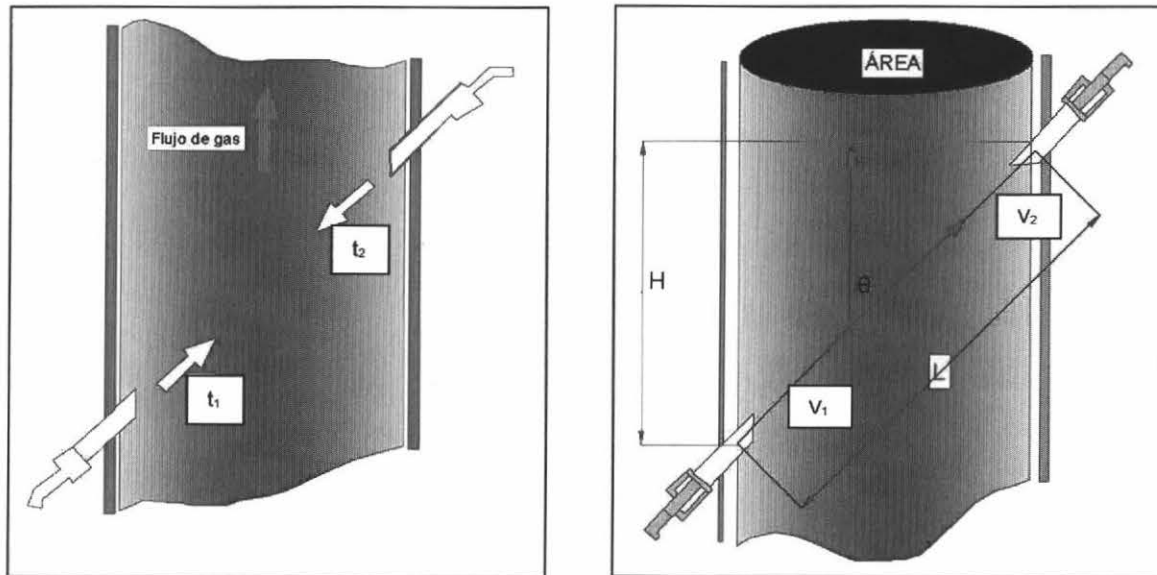
Técnica	Sensor	Descripción
Dispersión Térmica	Sensor de Calor Multipunto	Tiene capacidad para medir muy bajos y altos caudales. Relaciona la velocidad del gas con la energía necesaria para mantener la temperatura de la sonda en la medición in situ.
Equilibrio de Fuerzas	Sensores Piezoeléctricos	La velocidad de los gases se mide por medio de las fuerzas ejercidas por el caudal sobre el sensor piezoeléctrico.
Velocimetría Acústica	Sensor Ultrasónico	La velocidad de los gases se mide relacionando la velocidad de los pulsos de las ondas sonoras.

### 9.3.1.1 SENSOR ULTRASÓNICO

Mide la velocidad basado en el tiempo de viaje de las ondas sonoras, determinando  $t_1$  y  $t_2$ , que son los tiempos que le toma a la ondas sonoras en llegar del punto 1 al punto 2 (ubicados en la paredes transversales de la chimenea) y viceversa.

Aplicando fórmulas matemáticas en función de la geometría de la chimenea, el sensor calcula la velocidad, flujo volumétrico y temperatura.

FIGURA N°9 GEOMETRÍA DE LA CHIMENEA



- $L$  = Largo de paso de  $t_1$  a  $t_2$   
 $H$  = Desplazamiento  
 $\text{Área}$  = Área seccional  
 $\theta$  = Ángulo

#### Cálculo de la Velocidad ( $F_v$ )

Se calcula a partir de las ecuaciones de la velocidad en el punto 1 y punto 2 ( $V_1$  y  $V_2$ ) respectivamente.

$$V_1 = Cs + F_v (\cos \theta) \dots (\alpha)$$

$$V_2 = Cs - F_v (\cos \theta) \dots (\beta)$$

Dónde:

$V_1 V_2$  = Velocidad del tren de pulsos

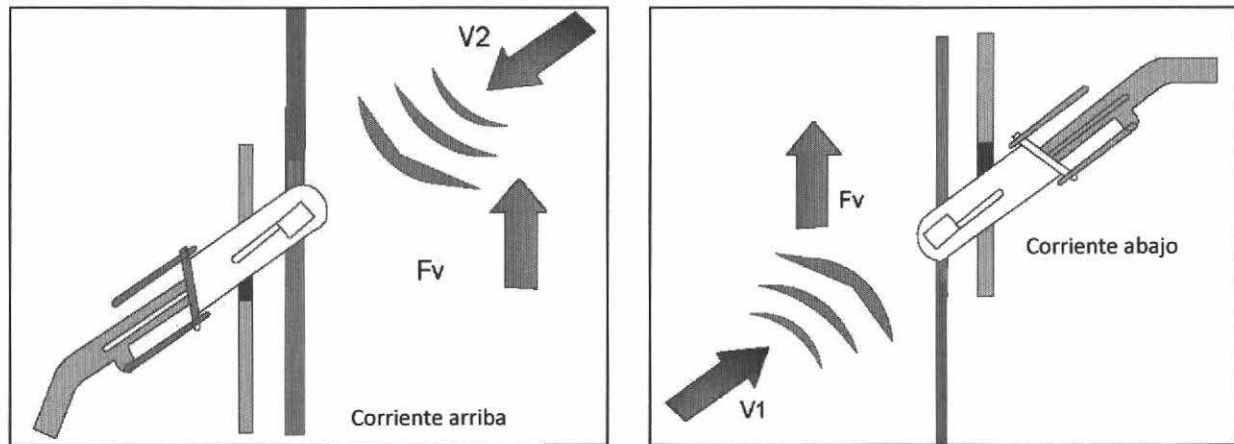
$Cs$  = Velocidad del sonido

$F_v$  = Velocidad de flujo

$\theta$  = Ángulo de montaje



FIGURA N°10 UBICACIÓN DEL SENSOR ULTRASONICO



De (α) - (β) y sustituyendo  $V_1 = L / t_1$  y  $V_2 = L / t_2$

$$F_v = \frac{L/t_1 - L/t_2}{2(\cos \theta)}$$

$$F_v = \frac{L}{2(\cos \theta)} \left[ \frac{t_2 - t_1}{t_1 t_2} \right] \dots (\Omega)$$

Para el cálculo del volumen aplicar la fórmula

$$\text{Volumen} = \text{Velocidad } (F_v) \times \text{Área} \dots (\Psi)$$

$$\text{Unidades} = \text{m}^3/\text{s}$$

El Volumen Estándar requiere la medición de la temperatura y presión.

Para realizar el cálculo de la velocidad y temperatura, se tendrán las siguientes consideraciones:

- El monitor debe instalarse en un ángulo menor o igual a 45°.
- El tren de pulsos es transmitido desde el primer transductor al segundo y viceversa.
- El tren de pulsos es transmitido aproximadamente cada 30 milisegundos de forma alternada.
- El número de trenes de pulsos enviado en cada dirección es programable (tiempo de respuesta menor a 5.0 segundos).
- A mayor número de trenes de pulsos aumenta la exactitud.

### 9.3.2 MEDIDORES DE HUMEDAD

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

- Usar un método continuo con analizador de humedad (medidor de Humedad).
- Usar un método continuo con analizador de O<sub>2</sub>, capaz de medir en base húmeda y base seca.
- En el caso de que el titular de la fuente o propietario del CEMS desee usar un método alternativo para la medición de la humedad distintos a los descritos en el presente protocolo, informará a la autoridad ambiental competente, en el caso esta adopte el presente protocolo, mediante documento escrito que contendrá mínimamente lo siguiente:
  - La identificación de la fuente de emisión (El nombre debe considerar un código de identificación, debe ser georeferenciado mediante el uso de coordenadas UTM WGS 84 e incluir el dato de la altitud).



- Detalle de las circunstancias por las cuales no pueden ser cumplidos los criterios mínimos para el ducto o chimenea existente.
  - Descripción del método alternativo propuesto y la metodología en que se fundamenta.
- Se puede considerar como método alternativo, la medición con el Método de Referencia de acuerdo a la NTP 900.004, siempre que sea realizado por un laboratorio que cuente con la acreditación vigente para el método en mención.

## 10 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y PROCEDIMIENTOS DE VALIDACION DEL CEMS

El aseguramiento de la calidad que incluye la calibración, la validación, las auditorías y otras pruebas del sistema, define los procedimientos y ensayos que permiten establecer la eficacia del sistema, en la determinación de las emisiones de partículas y gases provenientes de fuentes estacionarias.

Los procedimientos de aseguramiento de la calidad se componen de dos funciones, la evaluación de la calidad de los datos del CEMS y, el control y mejora de la data mediante la implementación de procedimientos de Control de Calidad y acciones correctivas.

El titular de la fuente desarrollará e implementará un plan para el Sistema de Aseguramiento de Calidad y Control de Calidad, que debe incluir a detalle los procedimientos y las operaciones de las actividades importantes realizadas.

El plan debe contener mínimamente lo siguiente:

- Registro de las calibraciones del CEMS.
- Los procedimientos para la determinación del error de calibración, pruebas y ajustes.
- Procedimientos y calendario del mantenimiento preventivo (que incluya el inventario de partes y repuestos).
- Procedimientos para implementar los requisitos de reporte y de registros.
- Expedientes de las reparaciones y acciones correctivas tomadas por las interrupciones del sistema de monitoreo.

### 10.1 PARA SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE GASES CEMSG

El titular de la fuente seguirá y cumplirá los requisitos que le sean aplicables según el anexo B de la parte 75, Volumen 40 del CFR y la parte 75.21 de la Subparte C de la parte 75, volumen 40 del CFR.

Pruebas requeridas para el sistema de Aseguramiento de Calidad en CEMSG:

- a) Prueba de Desviación de la Calibración (DC), que será de frecuencia diaria y aplicable a los CEMSG y flujo. El procedimiento para la realización de esta prueba, se detalla en el numeral 10.1.2.1 del protocolo (con la precisión, de que el ensayo de Desviación de la Calibración para la validación del CEMS, contempla la evaluación de 7 días de prueba de DC); y los límites de aceptación de la prueba serán en el caso de la evaluación para la calibración, de acuerdo al numeral 10.1.1 y; para el caso de validación del CEMSG de acuerdo a la Tabla N°15 del protocolo.
- b) Prueba de cociente de flujo/carga, que será de frecuencia trimestral y aplicable a los medidores de flujo, cuyo criterio de aceptación es la desviación promedio absoluta de los cocientes de flujo/carga por hora. Los límites de aceptación de la prueba son los siguientes:

Si la unidad de carga durante el último flujo de carga normal de la prueba de Exactitud Relativa fue  $\geq 60$  MW ó  $\geq 500$  klb/h de vapor, la desviación promedio absoluta debe ser  $\leq 15.0$  % si para los cálculos se usaron tasas de flujo no ajustadas a Bias; ó  $\leq 10.0$  % si para los cálculos se usaron tasas de flujo ajustadas a Bias.

Si la unidad de carga durante el último flujo de carga normal de la prueba de Exactitud Relativa fue  $< 60$  MW ó  $< 500$  klb/h de vapor, la desviación promedio absoluta debe ser  $\leq 20.0$  % si para los cálculos se usaron tasas de flujo no ajustadas a Bias; ó  $\leq 15.0$  % si para los cálculos se usaron tasas de flujo ajustadas a Bias.

La prueba "cociente de flujo/carga" de un monitor de flujo, en la mayoría de los casos, se realiza automáticamente por el SATC. El propósito de la prueba es asegurar que el monitor de flujo continúa proporcionando datos exactos entre pruebas de Exactitud Relativa.

El cálculo del cociente de flujo/carga es como sigue:

El cociente horario del flujo de gas sobre la carga de unidad se calcula para un grupo de datos trimestrales de flujo (es decir, las horas donde la carga estaba dentro del 10% de carga media, durante el último flujo de carga normal de la prueba de Exactitud Relativa).

Estos cocientes horarios se comparan con el cociente de flujo/carga de "referencia", que es el cociente de flujo promedio del Método de Referencia sobre la carga promedio de unidad de la última carga normal de la Exactitud Relativa.

El análisis de datos también se puede hacer en base a la "tasa de energética", que es el cociente de tasa de calor de entrada sobre la carga de unidad.

- c) Ensayo de Error de Linealidad EL, que será de frecuencia trimestral y aplicable a los CEMSG. El procedimiento para la realización de esta prueba, se detalla en el numeral 10.1.2.2; y los límites de aceptación son los especificados en la Tabla N°16 del protocolo.
- d) Ensayo de Exactitud Relativa ER, que será de frecuencia anual y aplicable a los CEMSG y flujo. El procedimiento para la realización de esta prueba, se detalla en el numeral 10.1.2.3; y los límites de aceptación son los especificados en la Tabla N°17 del protocolo.
- e) Prueba de verificación o chequeo de interferencias, que es de frecuencia diaria y aplicable a los medidores de flujo. Esta prueba se realizará de acuerdo a lo establecido en el numeral 2.2.2.2 del apéndice A de la parte 75 volumen 40 del CFR, mientras la fuente opera en condiciones normales.
- f) Prueba de chequeo de fugas, que es de frecuencia trimestral y aplicable a los medidores de flujo de tipo presión diferencial. Esta prueba se realizará de acuerdo a lo establecido en el punto 2.2.2 del apéndice B de la parte 75 volumen 40 del CFR.
- g) Prueba de exactitud para un medidor de flujo, que es de frecuencia anual y aplicable a los sistemas de medidor de flujo de combustible.
- h) Prueba de inspección primaria visual, que debe realizarse cada tres años sobre medidores de orificio, inyección y venturi certificados.

Salvo la prueba anual de Exactitud Relativa que deberá ser realizada por un laboratorio que cuente con acreditación vigente para los métodos que involucre la realización de la prueba; el resto de las pruebas, podrán ser realizadas por personal de planta del titular de la fuente.

Si los resultados de las pruebas de Aseguramiento de Calidad superan los límites establecidos, se considera al CEMS "Fuera de Control". Los datos registrados por el CEMS, no se consideraran de calidad asegurada y serán por lo tanto inválidos. El titular de la fuente realizará los ajustes necesarios y repetir las pruebas hasta que el CEMS cumpla con los límites establecidos para cada prueba.

Durante el tiempo que dure el período "Fuera de control" de un CEMS, el titular de la fuente cumplirá con los procedimientos que se establecen en el numeral 12.6 del protocolo.

### 10.1.1 CALIBRACIÓN

Para asegurar la calidad del monitoreo, se realizarán verificaciones diarias de la calibración, esto es mediante la realización del ensayo de Desviación de la Calibración (DC) en forma diaria; estas verificaciones serán de preferencia automáticas. La calibración tiene lugar cuando al realizar el ensayo de Desviación de la Calibración (DC), el resultado del parámetro evaluado, excede el doble del valor establecido para cada parámetro en la Tabla N°15 del protocolo. Para el caso de la Validación, este ensayo se realizará durante siete días consecutivos según lo especificado en el numeral 10.1.2.1 del protocolo.



### 10.1.1.1 CRITERIOS PARA EL USO DE LOS GASES DE CALIBRACIÓN

Se debe usar gases patrones o cilindros de gases multicomponentes que sean "EPA - Protocol" con certificado de calidad del fabricante y con una desviación menor o igual al 2%; en el caso de que se use algún otro gas este debe cumplir lo especificado en la sección 2.1.8 del documento "EPA traceability protocol for assay and certification of gaseous calibration standards".

En el caso de la validación, los gases a usar deben ser necesariamente "EPA - Protocol".

Para la calibración y otras pruebas de frecuencia diaria o trimestral, se podrán utilizar cilindros de proveedores nacionales, que deberán contar con certificado de calidad emitido por el fabricante y se deberá confirmar su concentración previo a su uso, siempre y cuando demuestren cumplir con los estándares de calidad EPA sección 2.1.8.

La concentración del gas debe ser al 90% del rango del equipo. Los gases deben estar dentro de su fecha de uso, estipulada en el certificado proporcionado por el proveedor y deberá implementarse reguladores de dos etapas.

Para asegurar la concentración del gas señalado en el certificado del fabricante, se recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

- a) Medir tres veces la concentración del gas del cilindro, usando un analizador de gases 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<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>.
- b) Los resultados de las tres lecturas serán promediados. Cada resultado de medición individual deberá estar dentro del 5% del valor promedio de las 3 lecturas medidas del procedimiento a).
- c) En los casos que no se cumpla la condición señalada en el procedimiento b), se descartarán las tres primeras mediciones y se deberán realizar otras 3 mediciones, de las cuales el promedio deberá estar dentro del 5% del valor de concentración establecido en el certificado emitido por el proveedor del cilindro.
- d) En caso que no se cumpla la condición señalada en el procedimiento 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.
- e) En el caso que se cumpla la condición señalada en el procedimiento d), el valor final de la concentración del gas patrón del cilindro, será el valor promedio de las 6 mediciones señaladas en el procedimiento d), si este no difiere en más del 15% del valor de concentración inicial establecido en el certificado del cilindro de gas.
- f) En caso de no cumplir con estos criterios, el cilindro de gas no podrá ser utilizado para efectos de validación de un CEMS.
- g) 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<sub>2</sub>, demostrando que no contiene concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> o COT sobre 0,1 ppm, una concentración de CO sobre 1 ppm o una concentración de CO<sub>2</sub> sobre 400 ppm.



### 10.1.1.2 DETERMINACIÓN DEL VALOR SPAN Y RANGOS DE ESCALA

El titular de la fuente establecerá y justificará para cada analizador instalado, los valores span y los de rangos de escala de medición, que serán aplicados en el registro de las emisiones de la fuente, según los siguientes criterios:

- 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.
- Estos valores se deberán utilizar para las evaluaciones de calibración y de los chequeos de linealidad requeridos en el numeral 10.1.2.2 de este protocolo.



### 10.1.2 ENSAYOS DE VALIDACIÓN (DC, EL, ER)

La validación es parte del Control de Calidad que implica evaluar la precisión y capacidad de ajuste del sistema CEM frente a la calibración, asimismo evaluar la respuesta lineal en todo el rango de medición y, la exactitud de la respuesta del sistema versus el Método de Referencia normalizado.

Los sistemas continuos de medición se validan a la puesta en marcha y cuando varían gradualmente la exactitud y precisión, a causa del desgaste o cambio de sus partes o por interferencias, por lo que es necesario realizar estos procedimientos de preferencia automáticamente para obtener datos suficientes de calidad y generar la mejor curva de ajuste dentro de los límites de aceptación.

Para la validación de los CEMSG y otros parámetros de interés, el titular de la fuente cumplirá para cada parámetro evaluado, los ensayos de validación siguientes:

- Ensayo de la Desviación de la Calibración (DC)
- Ensayo de Linealidad (EL)
- Ensayo de Exactitud Relativa (ER)

Los cuales están orientados a evaluar:

- Precisión.
- Capacidad de ajuste que posee el sistema, frente a la calibración en el tiempo.
- Capacidad de entregar una respuesta lineal en todo su rango de medición.
- Exactitud de su respuesta, comparándolas con las respuestas del Método de Referencia.

#### 10.1.2.1 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LA DESVIACIÓN DE LA CALIBRACIÓN (DC)

Se realizará el DC según los procedimientos establecidos en la parte 75, volumen 40 del CFR, tanto para gases como para flujo, considerando principalmente los siguientes criterios:

La fuente debe encontrarse funcionando en forma continua, con al menos el 50% de la carga máxima, para determinar la magnitud de la DC una vez al día (a intervalos de al menos 24 horas) durante siete días consecutivos; a excepción del sistema para monitoreo de monóxido de carbono, el cual podrá cumplir seis de los siete días de prueba.

El ensayo se realizará dosificando los gases de calibración por la sonda de muestreo, para nivel cero (0 al 20% del Span) y nivel alto (80 al 100% Span). Los gases de calibración deben ingresar por la bocatoma y fluirán por todos los componentes del sistema de muestreo. En el caso de que el diseño del CEMSG, no permita realizar los ensayos a los niveles indicados, se realizará entre el cero y el 20% del valor de span y en un valor medio entre 50 y 60 % del valor de span, siempre que se demuestre que es el nivel más representativo de la concentración de gases.

El tiempo de inyección del gas patrón será hasta que el valor de la lectura CEMSG se estabilice o se llegue al tiempo de respuesta; se considera un valor estable si la lectura es un salto menor al 2% del span para 2 minutos o si el salto es menor al 6% desde la concentración promedio medida en un lapso de 6 minutos. Como alternativa, también se considerará estable si cambia por no más de 0.5 ppm ó 0.2%.

Los resultados de la desviación de la calibración son aceptables, si ninguno de los resultados de la calibración diaria reporta valores superiores a lo especificado en la Tabla N° 15, durante los siete días que dura el ensayo; a excepción del sistema para monitoreo de monóxido de carbono y TRS, el cual podrá cumplir en seis de los siete días de prueba.

Los ajustes periódicos automáticos o manuales que se realizan en el CEMSG para nivel cero y nivel alto, se realizaran posterior al registro del valor de desviación, para cada día en que sea necesario realizarlo. En este caso se podrá realizar un ajuste a nivel cero y/o span, si el valor diario del %DC, se encuentra cercano al valor límite de la tabla N°15.

En el caso del parámetro flujo, no se deben realizar ajustes durante el periodo en que se realiza la prueba. La señal cero se considerará de 0 a 20% del span y la del alto nivel del 50 al 70% del valor



span; para este parámetro los valores de referencia pueden ser señales electrónicas, no necesariamente certificadas, proporcionadas por el fabricante u obtenida a través del Método de Referencia, en este caso será ingresada como señal electrónica.

Si durante la ejecución del ensayo, se presentan fallas eventuales, este deberá ser repetido una vez corregida las fallas. Asimismo, no se podrán realizar mantenimientos preventivos o correctivos durante el tiempo que dure la ejecución del ensayo de DC.

Durante los 7 días que dura el ensayo de Desviación de la Calibración, deberá utilizarse, el mismo cilindro de gas patrón, en caso de agotarse el cilindro de gas durante la ejecución del ensayo, se deberá repetir el ensayo de DC desde el inicio (día 1).

**Tabla N°15**  
**Límites Aceptables para el Ensayo de la Desviación de la Calibración**

Parámetro	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.
CO	± 5% del valor de span en al menos 6 de los 7 días que dura el ensayo, utilizando la ecuación 1.
CO <sub>2</sub>	± 0.5% CO <sub>2</sub> utilizando la ecuación 2.
O <sub>2</sub> (*)	± 0.5 % O <sub>2</sub> utilizando la ecuación 2.
TRS (H <sub>2</sub> S)	± 5% del valor de span en al menos 6 de los 7 días que dura el ensayo, utilizando la ecuación 1.
HCl	± 5 % del valor del span utilizando la ecuación 1.
COV o COT	± 2.5 % del valor de span utilizando la ecuación 1.
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, 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).

Las ecuaciones de la Tabla N°15 están referido a las ecuaciones y cálculos descritos en el numeral 10.1.4 Desviación de la Calibración (DC).

**10.1.2.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LINEALIDAD (EL)**

Culminado el ensayo de la Desviación de la Calibración y habiéndose alcanzado resultados que no superan los valores especificados en la Tabla N° 15; se continuará con el Ensayo de Linealidad, según los procedimientos establecidos en la parte 75, volumen 40 del CFR, considerando principalmente los siguientes criterios:

La fuente debe encontrarse funcionando en forma continua, con al menos el 50% de la carga máxima, el ensayo se realiza dosificando por la abertura de entrada de la sonda de muestreo, los gases de calibración con concentraciones que van desde niveles cero, medio y altos; la concentración de nivel bajo se considerará a aquella comprendida entre 20% y 30%, del valor del Span, la concentración de nivel medio entre 50% a 60% y la concentración del nivel alto entre 80 a 100% del valor del Span.

El monitor debe operar a la temperatura y condiciones normales de funcionamiento. En el caso de los monitores de tipo extractivo y dilución, pasaran por la sonda de muestreo y por todos los componentes del sistema de muestreo. En el caso de los monitores in situ, se debe comprobar la calibración, de todos los componentes activos y ópticos, incluyendo el transmisor, receptor y analizador.



Dosificar los gases de referencia al CEMSG tres veces, procurando no utilizar el mismo gas dos veces consecutivas, asegurándose que la prueba de linealidad no exceda 24 horas de funcionamiento. Registrar la respuesta del CEMSG, desde el sistema de adquisición de datos o sistema de registro. Para cada concentración, se debe calcular el promedio de las respuestas para determinar el Error de Linealidad utilizando la ecuación N°3, del numeral 10.1.4. Los resultados del % de Ensayo de Linealidad, se deben calcular para cada concentración de gas de calibración y los resultados obtenidos son aceptables, si ninguno de ellos son superiores a los límites aceptables señalados en la Tabla N°16.

En caso de existir ajustes periódicos automáticos o manuales, que se realicen en el CEMSG, deben efectuarse después de realizar este ensayo. No deben realizarse ajustes manuales a valores cero o span durante la realización de este ensayo.

**Tabla N°16**  
**Límites Aceptables para el Ensayo de Linealidad**

Parámetro	Linealidad
SO <sub>2</sub>	± 5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm utilizando la ecuación 4.
NOX	± 5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm utilizando la ecuación 4.
CO	± 5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm 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.
O <sub>2</sub> (*)	± 5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 0,5 % de O <sub>2</sub> , utilizando la ecuación 4.
HCl	± 5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm utilizando la ecuación 4.
COV o COT	± 5% utilizando la ecuación 3 ó ≤ 5 ppm utilizando la ecuación 4.

(\*) El valor límite del (EL), para el O<sub>2</sub>, incluye monitores y analizadores de O<sub>2</sub> que se utilizan para medir oxígeno en base seca y base humedad, Esta prueba se debe aplicar para cada analizador (húmedo y seco).

Las ecuaciones que se indican en la Tabla N°16, están referidas a las ecuaciones y cálculos del numeral 10.1.4

### 10.1.2.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE EXACTITUD RELATIVA (ER)

El ensayo de Exactitud Relativa (ER), consiste en comparar los valores entregados por el CEMSG y los valores obtenidos por el Método de Referencia (MR), los cuales se encuentran detallados en la Tabla N° 17. Las aplicaciones de los métodos de referencia, la debe realizar un laboratorio que cuente con acreditación vigente, específicamente para el Método de Referencia correspondiente.

Se procede con el ensayo de Exactitud Relativa (ER), según los procedimientos establecidos en la parte 75, volumen 40 del CFR; una vez culminado el ensayo de Linealidad (EL) y habiéndose alcanzado resultados que no superan los valores especificados en la Tabla N° 16.

Los criterios a utilizar para la prueba de la Exactitud Relativa (ER), son los siguientes:

La fuente debe encontrarse funcionando a más del 50% de la máxima capacidad respecto al consumo de combustibles y/o producción.

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 mantenga entre un 20 y 80% del valor de span. Si el sistema de monitoreo cuenta con más de un rango, realizar la prueba de exactitud relativa en el rango utilizado normalmente para medir las emisiones.

Realizar un mínimo de 9 corridas de muestras de datos, pudiendo eliminar un máximo de 3 muestras, siempre que la determinación de exactitud relativa se realice con un número de muestras igual o mayor que 9, debiendo informar todos los datos, incluso los resultados de aquellas muestras eliminadas. Se pueden considerar los siguientes criterios para las muestras a eliminar; aquellas que presenten mayor diferencia absoluta entre los resultados del MR y el del CEMSG y, aquellas que presenten mayor dispersión con respecto a su media aritmética; el criterio de eliminación se debe consignar en el reporte del ensayo.



La duración de cada corrida de muestreo debe ser de 21 minutos cada una, para los parámetros en donde el Método de Referencia lo permita, en caso contrario, se deberá adecuar el tiempo de las muestras al mínimo tiempo que acepte el Método de Referencia.

Considerar que los tiempos de respuesta del CEMSG y del Método de Referencia, sean en el mismo intervalo de tiempo, para de esa forma poder hacerlas comparativas.

Para los analizadores, que utilizan componentes comunes para medir más de un parámetro del efluente de gas, todos los canales deben pasar al mismo tiempo el requisito de Exactitud Relativa, a menos que pueda demostrarse que cualquier ajuste realizado a uno de los canales, no afecte a los demás.

La prueba de Exactitud Relativa, para los monitores de flujo, se debe realizar en tres diferentes velocidades de los gases de escape: bajo, medio y alto, definidas como:

- Nivel "Bajo" : Nivel de funcionamiento hasta 30% del rango de operación.
- Nivel "Medio" : Mayor a 30% y menor o igual a 60% del rango de operación.
- Nivel "Alto" : Mayor a 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 autoridad ambiental competente, en el caso adopte el presente protocolo, 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. Estos antecedentes se consignaran adjuntando data histórica de por lo menos los últimos tres meses y los perfiles de flujo relacionados a la carga.

Si durante la ejecución del ensayo, se presentan fallas eventuales, este deberá ser repetido una vez corregida las fallas.

Son aceptables los resultados de Exactitud Relativa iguales o inferiores a los límites máximos señalados en la Tabla N°17.

**Tabla N°17**  
**Límites Aceptables para el Ensayo de Exactitud Relativa**

Parámetro	Exactitud Relativa	Método de Referencia
SO <sub>2</sub> (TRS)	<p>≤ 20% cuando se utiliza el MR 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 usado como denominador de la ecuación 5 para calcular la ER. (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 especificación de 20% y 10% no se logre.</p>	EPA Método 6C
NO <sub>x</sub>	<p>≤ 20% cuando se utiliza el MR en el denominador de la ecuación 5 para calcular la ER (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 ER (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 especificación de 20% y 10% no se logre.</p>	EPA Método 7E
CO	<p>≤10% utilizando el promedio del MR en la ecuación 5 ó</p> <p>5% utilizando el estándar de emisión en la ecuación 5</p>	NTP 900.070



O <sub>2</sub>	≤10% utilizando la ecuación 5 ó ≤ 1% de O <sub>2</sub> utilizando la ecuación 7.	NTP 900.070
CO <sub>2</sub>	≤10% utilizando la ecuación 5 ó ≤ 1% de O <sub>2</sub> utilizando la ecuación 7.	NTP 900.070
HCl	20% utilizando el promedio del MR en la ecuación 5 ó 10% utilizando el estándar de emisión en la ecuación 5	EPA Método 26A
COV o COT	20% utilizando el promedio del MR en la ecuación 5 ó 10% utilizando el estándar de emisión en la ecuación 5	EPA Método 25A
Humedad	≤10% utilizando la ecuación 5 ó ≤ 1.5% de agua utilizando la ecuación 6.	NTP 900.004
Flujo	≤ 20% utilizando el promedio del MR en ecuación 5 ó ≤ 10% en cualquier carga utilizando la ecuación 5 ó ≤ ± 0.6 m/s cuando la velocidad es igual o inferior a 3.05 m/s, utilizando la ecuación 6, cuando la especificación de 20 y 10% no se logre.	NTP 900.002

(\*) El valor límite de ER para el parámetro de Humedad indicado en la Tabla N°17, aplica a aquellas mediciones a partir de un medidor de humedad y de analizadores de O<sub>2</sub>, que miden en base húmeda y seca (se debe aplicar a cada analizador).

Las ecuaciones indicadas en la Tabla N° 17 corresponde a las señaladas en el numeral 10.1.4.

Aquellos parámetros, límites aceptables de DC, EL, ER, no considerados en las Tablas N°15, 16 y 17, así como los métodos de referencia no establecidos, serán determinados por la autoridad ambiental competente, en el caso esta adopte el presente protocolo.

#### 10.1.2.4 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RESPUESTA

Antes del ensayo de Exactitud Relativa ER, el titular de la fuente realizará y demostrará los resultados de las pruebas del tiempo de respuesta para cada sistema de monitoreo continuo de emisiones, según lo establecido en la parte 75, volumen 40 del CFR, de acuerdo a los siguientes criterios:

- El tiempo de respuesta se determinará mientras la fuente esté operando (sobre el 50%), utilizando para esta prueba los gases de calibración (EPA-Protocol) de nivel cero y nivel alto o span alternadamente.
- En sistemas de monitoreo que realicen una serie de operaciones (tales como purga, muestreo y análisis), se debe realizar 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 tiempo de respuesta para el analizador.
- En sistemas de tiempo compartido, el tiempo de respuesta se debe realizar en todas las ubicaciones de sondas que serán monitoreadas dentro del mismo periodo de 15 minutos, durante las operaciones del sistema de monitoreo.
- Realizar la sumatoria del máximo tiempo de respuesta obtenido en cada ubicación de las sondas, para determinar el tiempo de ciclo para sistemas de tiempo compartido. Se reporta la sumatoria del tiempo de respuesta 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 tiempo de respuesta para cada uno de los sistemas de tiempo compartido.
- En monitores con rangos duales, se reportará los resultados de prueba dentro de rango, dando el tiempo de ciclo más largo.
- Son aceptables los resultados de pruebas si ninguno de los tiempos de ciclo sobrepasa los 15 minutos, según lo indicado en la Tabla N°15.
- Para el caso de los CEMS-MP se procederá con los mismos criterios para determinar el tiempo de respuesta, utilizando las señales electrónicas del ensayo de Margen de Error como patrón de referencia para cero y escala superior. En este caso, el límite del tiempo de respuesta será un valor inferior a 15 minutos.





### 10.1.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRA PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFERENCIA

#### 10.1.3.1 SITIO DE MEDICIÓN

El sitio de medición para el MR, se debe seleccionar ubicado al menos a dos diámetros corriente abajo (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), 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 corriente arriba (de ser el caso se utilizará el diámetro equivalente), de los gases de escape o de algún dispositivo de control; no siendo necesario que el sitio de medición del sistema de monitoreo continuo y el Método de Referencia sean los mismos.

Para los parámetros flujo y humedad, el sitio de muestreo del MR debe ser seleccionado de acuerdo a las distancias y ubicación especificadas en el método NTP 900.001.

#### 10.1.3.2 PUNTO DE MEDICIÓN

Los criterios para la ubicación del punto de medición del CEMSG se establecen en la PS-2 del anexo B de la CFR 40 parte 60 y principalmente se considerarán los siguientes:

Para garantizar la representatividad de la recolección de la muestra de la sección transversal de la chimenea o ducto, se debe seleccionar los puntos que cumplan mínimamente lo siguiente:

Establecer una línea de medición en la sección transversal, que atraviese el área centroidal, seleccionar tres puntos de muestreo ubicados a 16,7%, 50% y 83,3% del diámetro de la chimenea. Si la línea de medición obstaculiza el CEMSG, correrla 30 cm. del área centroidal o un 5% del diámetro equivalente de la sección transversal.

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, sólo si antes no existen sistemas de control de emisiones húmedos o en puntos donde se combinan dos flujos con diferentes concentraciones de contaminantes

Para los parámetros flujo y humedad, los puntos de muestreo del MR deben ser ubicados aplicando el método NTP 900.001.

#### 10.1.4 ECUACIONES APLICABLES A LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN CEMSG (DC, EL, ER)

##### a) DESVIACION DE CALIBRACIÓN (DC)

**DC:** Porcentaje de Desviación de la Calibración del instrumento.

**R:** Valor del gas de referencia para Cero o Alto Nivel.

**A:** Respuesta del CEMSG para el gas de calibración (promedio de respuesta para la linealidad).

**S:** Valor del Span del Instrumento.

$$DC = \frac{|R - A|}{S} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$DC = |R - A| \quad \text{Ecuación 2}$$

##### b) ERROR DE LINEALIDAD (EL)

**EL:** Porcentaje del Error de Linealidad en base al valor de referencia.

**R:** Valor de referencia para Cero, Medio y Alto Nivel del gas de calibración introducida en sistema de monitoreo.

**A:** Respuesta promedio del CEMSG.

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

Ecuación 3

$$EL = |R - A|$$

Ecuación 4

## c) EXACTITUD RELATIVA (ER)

ER: Exactitud Relativa.

 $|\bar{d}|$ : Valor absoluto de la media aritmética de la diferencia entre el Método de Referencia y los valores del CEMSG. $|CC|$ : Valor absoluto del Coeficiente de Confianza. $\overline{MR}$ : Media aritmética de los valores del Método de Referencia.

$$ER = \frac{[|\bar{d}| + |CC|]}{\overline{MR}} * 100$$

Ecuación 5

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

Cálculo de la media aritmética

Dónde:

 $\bar{d}$ : Media aritmética de la diferencia entre el Método de Referencia y los valores de CEMSG.

n: Número de puntos de datos (número de corridas).

 $\sum_{i=1}^n d$  : Suma algebraica de la diferencia individual di.

di: Diferencia entre el valor del Método de Referencia y el valor CEMSG para un punto de la corrida (dato) determinado.

$$di = MRi - RCEMi$$

Cálculo del Coeficiente de Confianza:

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

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

Dónde:

CC: Coeficiente de confianza.

Sd: Desviación estándar.

 $t_{0,025}$  : Valor de Tabla N°18.

n: Número de puntos de datos (número de corridas).



**Tabla N°18**  
**Coefficiente de Confianza (CC) para t<sub>0,025</sub>**

n-1	t <sub>0,025</sub>
8	2.306
9	2.262
10	2.228
11	2.201
12	2.179
13	2.160
14	2.145
15	2.131
16	2.120
17	2.110
18	2.101
19	2.093

También la ER queda determinada por:

$$ER = \left| \overline{RCEM} - \overline{MR} \right| \quad \text{Ecuación 6}$$

$$ER = |d| \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:



**RCEM:** Media aritmética de los valores del CEMSG.

**MR:** Media aritmética de los valores del Método de Referencia.

**|d|:** Valor absoluto de la media aritmética de la diferencia entre el Método de Referencia y los valores del CEMSG.

### 10.1.5 ENSAYOS PARA AUDITORIAS CEMSG

La auditoría del CEMSG consiste en la realización del ensayo de Exactitud Relativa. La primera auditoría se realizará a los 12 meses a partir de la fecha de finalización del ensayo de la validación inicial.

### 10.2 PARA SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE PARTÍCULAS CEMS-MP

El objetivo de la validación para CEMS-MP, es establecer los procedimientos para obtener la mejor correlación durante las mediciones del material particulado para obtener datos confiables.

La validación del sistema CEM para material particulado CEMS-MP, deberá cumplir las especificaciones de funcionamiento establecidas en el Performance Specification 11 (PS 11) EPA del apéndice B de la parte 60 del volumen 40 de la CFR.

La validación se soporta en dos ensayos, el ensayo de Margen de Error que permite determinar el límite del margen de error en el muestreo y medición; y el ensayo de correlación que permite verificar puntos de calibración, dentro de los límites de aceptación.

#### 10.2.1 ENSAYOS MARGEN DE ERROR (ME)

Los chequeos de Margen de Error en cero y en escala superior deberán seguir lo siguiente:

- Realizarse mientras la fuente estacionaria esté operando normalmente.
- Realizarse por siete días seguidos, una vez por día de preferencia en forma automática. Los intervalos deben ser de 24 horas.

- Si el sistema es de tipo extractivo, con medición de volumen para el cálculo del resultado final, el sistema debe realizar el chequeo diario del volumen de la muestra, con el fin de verificar la precisión del equipo, debe ser en forma diaria a la tasa de muestreo normal según la PS 11. De igual forma si es de tipo de dilución y cuenta con equipos auxiliares como medidores de presión, temperatura y humedad, se realizarán los chequeos de margen de error separadamente para cada equipo, debiendo cumplir cada equipo los límites de margen de error del 2% especificado individualmente.
- Los valores de referencia para el nivel cero, escala superior y el chequeo del volumen de muestra a través de la correlación, deberán ser documentados por el fabricante del equipo de medición, pudiendo ser no certificado.
- En los casos en que no se disponga de un valor de escala superior se podrá tomar como referencia una medición discreta del método NTP 900.005, realizada por un laboratorio que cuente con la acreditación vigente, para el método en mención, cuyo resultado podrá incorporarse como señal electrónica para CEMS-MP.

El sistema debe realizar las mediciones debiendo registrar:

- Mediciones en nivel cero.
- Mediciones en escala superior.
- Tiempo de las mediciones.

Cualquier ajuste a los valores de seteo de nivel cero y escala superior, serán realizados después de los ensayos, para verificar el margen de error.

Los valores de referencia para determinar el Margen de Error son los siguientes:

- Para el chequeo en nivel cero, producir una respuesta entre 0 y 20%, del rango de respuesta del CEMS-MP.
  - En escala superior, producir una respuesta entre 50 y 100% del rango de respuesta del CEMS-MP.
  - Para los CEMS- MP que producen una salida en un rango de 4 a 20 mA, el valor de chequeo de escala superior deberá producir una respuesta en el rango de 12 a 20 mA (obtener información del fabricante del sistema).
- Los límites del margen de error diario promedio del CEMS-MP, no podrán desviarse del valor estándar de referencia, en más de 2% del valor de escala superior.
- Para obtener los valores de los chequeos, deberá emplearse las ecuaciones 8 y 9, y reportar los resultados según la Tabla N° 19.



#### a) Margen de Error en Escala Superior (ES):

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

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

$$ES = \left| \frac{R_{CEM} - R_U}{R_U} \right| * 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

#### b) Margen de Error en Cero (EC):

$R_{CEM}$ : 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.

$$EC = \left| \frac{R_{CEM} - R_L}{R_U} \right| * 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

**Tabla N°19**  
**Ensayos de 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 <sub>L</sub> )	Respuesta CEMS-MP (R <sub>CEM</sub> )	Diferencia (R <sub>CEM</sub> - R <sub>L</sub> )	Margen de Error en cero $EC = \left  \frac{R_{CEM} - R_L}{R_U} \right  * 100$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
Margen de Error en escala superior, día N°	Fecha y hora	Valor de chequeo en escala superior (R <sub>U</sub> )	Respuesta CEMS-MP (R <sub>CEM</sub> )	Diferencia (R <sub>CEM</sub> - R <sub>U</sub> )	Margen de Error en escala superior $ES = \left  \frac{R_{CEM} - R_U}{R_U} \right  * 100$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					



**10.2.2 ENSAYOS DE CORRELACIÓN**

Culminado el ensayo de Margen de Error y habiéndose alcanzado resultados que no superan los valores de referencia, se continuará con el ensayo de correlación, debiéndose cumplir y demostrar los resultados de acuerdo a lo establecido en la PS -11 EPA (para el manejo de datos del CEMS-MP, usar la plantilla de cálculo de correlaciones y aseguramiento de calidad elaborada por la EPA: "Correlation spreadsheet and Q&As for PS-11 and Procedure 2" <http://www3.epa.gov/ttn/emc/prompspec11.html>).

Los modelos de correlación Lineal, Polinomial, Logarítmico, Exponencial y Potencial, se utilizan para ajustar los valores obtenidos de los equipos dentro de los límites aceptables, considerando lo siguiente:

- Realizar un número suficiente de ensayos, tal que permitan obtener al menos 15 pares de datos (corridas) del Método de Referencia y del CEMS-MP para el desarrollo de la correlación, se puede descartar hasta 5 series de datos sin justificación, siempre que se obtengan al final, los 15 pares de datos solicitados (cualquier corrida descartada debe reportarse).
- El Método de Referencia a utilizar es la NTP 900.005; para las especificaciones de funcionamiento se pueden emplear métodos existentes en las NTP peruanas para emisiones, previamente autorizados por la autoridad ambiental competente, en el caso esta adopte el presente protocolo; debiendo ser realizadas por un laboratorio que cuente con acreditación vigente específicamente para el método en mención.
- Para el Método de Referencia utilizar 2 muestras por corridas.

- Coordinar para que el muestreo del Método de Referencia y la operación del CEMS-MP, así como su inicio y las paradas, se realicen simultáneamente, inclusive cuando se trate de muestreo por lotes. En el caso de que el muestreo por el Método de Referencia se encuentre detenido, considerar ajustar los valores del CEMS-MP en el caso que fuera necesario.
- Se deben alinear los periodos de tiempo para el Método de Referencia y para CEMS-MP, a fin de tomar en cuenta el tiempo de respuesta.
- Documentar los registros de tiempo de respuesta y cualquier cambio de este posterior al inicio del sistema. El tiempo de respuesta y su equivalente el tiempo de ciclo para el muestreo de lotes, no deben ser mayores a 15 minutos.

Para los ensayos de correlación se procederá de la siguiente forma:

- a) El 20% de las 15 muestras mínimas serán consideradas para el ensayo de correlación.
- b) Realizar los ensayos de correlación en tres niveles de concentración de masa de material particulado:
  - Nivel de concentración cero entre 0 - 50%.
  - Nivel concentración medio entre 50 - 75%.
  - Nivel de concentración alto entre 50 y 100%.

Estos niveles son referidos al valor de máxima concentración de material particulado, variando las condiciones de operación del proceso, variando las condiciones del dispositivo de control de material particulado o con adición de material particulado.

- c) De no tener tres niveles de concentración, el ensayo de correlación se debe realizar con máximo rango de concentración de material particulado adecuado para CEMS-MP, para asegurar el rango máximo del equipo, procediendo de acuerdo a lo siguiente:
  - El dato en cero de los instrumentos in situ, se realizará retirando el instrumento de la chimenea y monitoreando el aire del ambiente en la plataforma.
  - El dato en cero de los instrumentos extractivos, se realizará retirando la sonda de muestreo de la chimenea y colocándola en un ambiente de aire limpio.
  - El dato en cero se puede obtener también solo con el funcionamiento de los sonda de muestreo extractivo, sin operación productiva de la industria.
  - Cuando no hay material particulado en el gas de emisión, estimar la respuesta del monitor (mA Vs concentración).
- d) Los resultados obtenidos del Método de Referencia y los resultados del CEMS-MP, deben estar en las mismas unidades y condiciones (temperatura, humedad, presión, flujo, etc.) referidos al CEMS-MP, para facilitar su comparación y evaluación. De lo contrario proceder a su conversión.
- e) Los datos de correlación entre el Método de Referencia y el CEMS-MP, deben reportarse considerando lo siguiente:
  - Coeficientes de correlación obtenidos, Intervalo de Confianza e Intervalo de Tolerancia.
  - Las hojas de datos, cálculo, registros de respuestas del CEMS-MP.
  - Registro de datos de proceso, que incluya los parámetros de operación del control de MP.
  - Certificaciones de medios de referencia necesarios del CEMS-MP, para confirmar que se cumplió con los requerimientos de funcionamiento.
  - En cada período de ensayo del Método de Referencia, la salida de datos del CEMS-MP, debe ser integrada mediante un promedio aritmético.
  - Considerar el tiempo de respuesta del CEMS-MP, para ajustar los datos de salidas del CEMS-MP y los datos de ensayo del Método de Referencia, estos deben ser al mismo tiempo.
  - La consistencia de los resultados del Método de Referencia, con las respuestas del CEMS-MP, para las condiciones de operación como humedad, temperatura, presión determinados y razón de dilución considerada.
  - Identificar los resultados del ensayo del Método de Referencia que no cumplen los criterios del método de ensayo.

Con los datos obtenidos del CEMS-MP y del Método de Referencia, se determinará la mejor curva del modelo desarrollado a utilizar, considerando lo siguiente:



- 1) Comparar los porcentajes del rango medio del Intervalo de Confianza, Tolerancia y el coeficiente de correlación, teniendo presente que deben ser en las mismas unidades de medición y condiciones operacionales del CEMS-MP.
- 2) Desarrollar más de una curva y seleccionar la curva con mayor coeficiente de correlación.
- 3) En el modelo polinomial, se deberá considerar lo siguiente:
  - 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, y desarrollar necesariamente lo indicado en los numerales 1 y 2.
  - Si la curva de correlación tiene un valor máximo, este máximo debe ser superior al límite de extrapolación permitido para ser empleado como modelo admisible, debiendo desarrollarse también los numerales 1 y 2.

La ecuación polinomial para hallar el máximo y mínimo es:

$$\text{Máximo o mínimo} = -\frac{b_1}{2 * b_2} \quad \text{Ecuación 10}$$

### 10.2.2.1 ECUACIONES DE ENSAYOS DE CORRELACIÓN

Las concentraciones de material particulado a partir de las respuestas del CEMS-MP se calcularán por el método de los mínimos cuadrados. Al ejecutar el procedimiento del Método de Referencia, NTP 900.005, los cálculos de concentración se realizarán con datos de tipo discretos, en caso de realizar mediciones pareadas, no promediar los pares de datos del Método de Referencia, deberán ser procesadas en forma individual.

#### a) EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN LINEAL

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:

$$y = b_0 + b_1 * x \quad \text{Ecuación 11}$$

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:

$$b_0 = \bar{y} - b_1 * \bar{x} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$\bar{x}$ : Valor promedio de respuestas del CEMS-MP, según ecuación 13.

$\bar{y}$ : Valor promedio de la concentración de material particulado según ecuación 14.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Ecuación 13}$$

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

**Ecuación 14****Donde:** $x_i$ : Valor de respuesta del CEMS-MP para el ensayo o corrida  $i$ . $y_i$ : Valor de concentración de material particulado para el ensayo o corrida  $i$ . $n$ : Número de puntos de datos.

Calcular el valor de la pendiente de la curva de correlación usando la ecuación:

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

**Ecuación 15****Donde:** $S_{xx}$  y  $S_{xy}$  se calcula usando las ecuaciones 16 y 17.

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

**Ecuación 16**

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

**Ecuación 17**

Para calcular el rango medio del Intervalo de Confianza del 95% (CI), para estimar la concentración del material particulado ( $\bar{y}$ ), al valor promedio de ( $x$ ), se empleará la ecuación 18, de acuerdo a:

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

**Ecuación 18****Donde:****CI**: Rango medio del Intervalo de Confianza de 95% para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado ( $x$ ). $t_{df, 1-a/2}$ : Valor estadístico para  $t$  de la Tabla N°20 para  $df = n - 2$ . $S_L$ : La dispersión o desviación de los valores cerca de la curva de correlación, que está determinada usando la ecuación 19.

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

**Ecuación 19**

Calcular el rango de Intervalo de Confianza de 95%, para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado ( $x$ ), como el % de emisión límite (%CI), mediante la ecuación 20:

$$CI\% = \frac{CI}{LE} \cdot 100\%$$

**Ecuación 20**

**Donde:**

**CI:** Rango medio del Intervalo de Confianza de 95% para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado ( $\bar{X}$ ).

**LE:** Límite de emisión de material particulado, (LE = LMP, límite máximo permisible).

Calcular el rango del Intervalo de Tolerancia (TI), para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado, mediante la ecuación 21:

$$TI = K_t * S_L \quad \text{Ecuación 21}$$

**Donde:**

**TI:** Rango del Intervalo de Tolerancia, para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado.

**K<sub>t</sub>:** Calculado según ecuación 22 (o usar el Valor de la Tabla N°20)

**S<sub>L</sub>:** Calculado según ecuación 19

$$K_t = u_{n'} * v_{df} \quad \text{Ecuación 22}$$

**Donde:**

**n':** El número de ensayos o corridas (n)

**u<sub>n'</sub>:** Factor de tolerancia entre el 75% y 95% del Intervalo de Confianza indicado en la Tabla 20.

**v<sub>df</sub>:** Valor de la Tabla N°20 para df = n - 2

Calcular el rango medio de Intervalo de Tolerancia para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado ( $\bar{X}$ ), como el % del límite de emisión (%TI), mediante la ecuación 23:

$$TI\% = \frac{TI}{LE} * 100\% \quad \text{Ecuación 23}$$

**Donde:**

**TI:** Rango medio de Intervalo de Tolerancia para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado ( $\bar{X}$ ).

**LE:** Límite de emisión de material particulado, (LE = LMP, límite máximo permisible).

Calcular el coeficiente de correlación Lineal, usar la ecuación 24:

$$r = \sqrt{1 - \frac{S_L^2}{S_y^2}} \quad \text{Ecuación 24}$$

**Donde:**

**S<sub>L</sub>:** Calculado usando la ecuación 19

**S<sub>y</sub>:** Calculado usando la ecuación 25

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 25}$$



**b) EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN POLINOMIAL**

Para evaluar una correlación Polinomial utilizar la ecuación:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x + b_2 * x^2 \quad \text{Ecuación 26}$$

**Donde:**

$\hat{y}$ : Concentración estimada de material particulado dada por la ecuación de correlación polinomial.

$x$ : La respuesta del CEMS-MP para el ensayo.

$b_0, b_1, b_2$ : Coeficientes determinados para la solución de la ecuación de la matriz.

$$A * b = B$$

**Donde:**

$$A = \begin{bmatrix} n & S_1 & S_2 \\ S_1 & S_2 & S_3 \\ S_2 & S_3 & S_4 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} S_5 \\ S_6 \\ S_7 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 27}$$

**Donde:**

$$S_1 = \sum_{i=1}^n (x_i), S_2 = \sum_{i=1}^n (x_i^2), S_3 = \sum_{i=1}^n (x_i^3), S_4 = \sum_{i=1}^n (x_i^4) \quad \text{Ecuación 28}$$

$$S_5 = \sum_{i=1}^n (y_i), S_6 = \sum_{i=1}^n (x_i * y_i), S_7 = \sum_{i=1}^n (x_i^2 * y_i) \quad \text{Ecuación 29}$$



**Donde:**

$x_i$ : 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 o corridas.

Calcular los coeficientes de la curva de correlación Polinomial  $b_0, b_1, b_2$  usando las ecuaciones respectivamente según:

$$b_0 = \frac{(S_5 * S_2 * S_4 + S_1 * S_3 * S_7 + S_2 * S_6 * S_3 - S_7 * S_2 * S_2 - S_3 * S_3 * S_5 - S_4 * S_6 * S_1)}{\det A} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$b_1 = \frac{(n * S_6 * S_4 + S_5 * S_3 * S_2 + S_2 * S_1 * S_7 - S_2 * S_6 * S_2 - S_7 * S_3 * n - S_4 * S_1 * S_5)}{\det A} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$b_2 = \frac{(n * S_2 * S_7 + S_1 * S_6 * S_2 + S_5 * S_1 * S_3 - S_2 * S_2 * S_5 - S_3 * S_6 * n - S_7 * S_1 * S_1)}{\det A} \quad \text{Ecuación 32}$$

**Donde:**

$$\det A = n \cdot S_2 \cdot S_4 - S_2 \cdot S_2 \cdot S_2 + S_1 \cdot S_3 \cdot S_2 - S_3 \cdot S_3 \cdot n + S_2 \cdot S_1 \cdot S_3 - S_4 \cdot S_1 \cdot S_1 \quad \text{Ecuación 33}$$

Calcular el rango medio de Intervalo de Confianza de 95%(CI), calculando primero los coeficientes C (C<sub>0</sub> al C<sub>5</sub>), usando las ecuaciones:

$$C_0 = \frac{(S_2 \cdot S_4 - S_3^2)}{D}, \quad C_1 = \frac{(S_3 \cdot S_2 - S_1 \cdot S_4)}{D}, \quad C_2 = \frac{(S_1 \cdot S_3 - S_2^2)}{D} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$C_3 = \frac{(n \cdot S_4 - S_2^2)}{D}, \quad C_4 = \frac{(S_1 \cdot S_2 - n \cdot S_3)}{D}, \quad C_5 = \frac{(n \cdot S_2 - S_1^2)}{D} \quad \text{Ecuación 35}$$

**Donde:**

$$D = n \cdot (S_2 \cdot S_4 - S_3^2) + S_1 \cdot (S_3 \cdot S_2 - S_1 \cdot S_4) + S_2 \cdot (S_1 \cdot S_3 - S_2^2) \quad \text{Ecuación 36}$$

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

$$\Delta = C_0 + 2 \cdot C_1 \cdot x + (2 \cdot C_2 + C_3) \cdot x^2 + 2 \cdot C_4 \cdot x^3 + C_5 \cdot x^4 \quad \text{Ecuación 37}$$

Determine el valor de  $x$ , correspondiente al mínimo valor de  $\Delta$ , ( $\Delta_{\min}$ ). Determinar la dispersión o desviación de los valores cerca de la curva de correlación Polinomial ( $S_p$ ), usando la ecuación:

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{n-3} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y_1)^2} \quad \text{Ecuación 38}$$

Calcular el rango medio de Intervalo de Confianza de 95% (CI), para estimar la concentración del material particulado al valor  $x$  que corresponde a  $\Delta_{\min}$ , usando la ecuación 39:

$$CI = t_{df} \cdot S_p \cdot \sqrt{\Delta_{\min}} \quad \text{Ecuación 39}$$

**Donde:****d<sub>f</sub>**: n - 3**t<sub>df</sub>**: Ver Tabla N° 20

Calcular el rango medio del Intervalo de Confianza de 95%(CI), para estimar la concentración del material particulado al valor  $x$  que corresponde a  $\Delta_{\min}$ , como porcentaje del límite de emisión (%CI), usando la ecuación 40:

$$CI\% = \frac{CI}{LE} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 40}$$

**Donde:**

**CI**: Rango medio del Intervalo de Confianza de 95% para estimar el valor promedio de la concentración de material particulado ( $x$ ), correspondiente a  $\Delta_{\min}$ .

**LE**: Límite de emisión de material particulado, (LE = LMP, límite máximo permisible).



Calcular el rango medio del Intervalo de Tolerancia (TI), para estimar el valor  $\mathcal{X}$  de la concentración de material particulado que corresponde a  $\Delta_{\min}$ , indicado en la ecuación de correlación polinomial, con la ecuación:

$$TI = k_T * S_p \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

$$K_T = u_{n'} * v_{df} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$n' = \frac{1}{\Delta_{\min}} \quad \text{Ecuación 43}$$

Para:

$u_{n'}$ : Valor de la Tabla N°20

$v_{df}$ : Valor de la Tabla N°20 para  $df = n - 3$ ; si  $n < 2$  entonces tomar  $n = 2$

Para determinar el rango medio del Intervalo de Tolerancia al valor de ( $\mathcal{X}$ ), para estimar el valor  $\mathcal{X}$  de la concentración de material particulado que corresponde a  $\Delta_{\min}$ , como porcentaje del límite de emisión (%Ti) utilizar la ecuación:

$$TI\% = \frac{TI}{LE} * 100\% \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

TI: Rango medio de Intervalo de Tolerancia para estimar el valor de la concentración de material particulado de valor  $x$  que corresponde a  $\Delta_{\min}$ .

LE: Límite de emisión de material particulado, (LE = LMP, límite máximo permisible).

Para calcular el coeficiente de la correlación polinómica usar la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{1 - \frac{S_p^2}{S_y^2}} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

$S_p$ : Calculado a través de la ecuación 38.

$S_y$ : Calculado a través de la ecuación 25.

Tabla N° 20  
Factores para calcular los rangos medios de Confianza y Tolerancia

$d_f$	$t_{df}$	Intervalo de Tolerancia con cobertura de 75% y 95% de nivel confianza		
		$V_{df}$	$u_{n'} (75\%)$	$k_T$
2	4.303	4.415	1.433	6.327
3	3.182	2.920	1.266	3.697
4	2.776	2.372	1.247	2.958
5	2.571	2.089	1.233	2.576
6	2.447	1.915	1.223	2.342
7	2.365	1.797	1.214	2.183
8	2.306	1.711	1.208	2.067
9	2.262	1.645	1.203	1.979



10	2.228	1.593	1.198	1.909
11	2.201	1.551	1.195	1.853
12	2.179	1.515	1.192	1.806
13	2.160	1.485	1.189	1.766
14	2.145	1.460	1.186	1.732
15	2.131	1.437	1.184	1.702
16	2.120	1.418	1.182	1.676
17	2.110	1.400	1.181	1.653
18	2.101	1.384	1.179	1.633
19	2.093	1.370	1.178	1.614
20	2.086	1.358	1.177	1.597
21	2.080	1.346	1.175	1.582
22	2.074	1.335	1.174	1.568
23	2.069	1.326	1.173	1.555
24	2.064	1.316	1.172	1.544
25	2.060	1.308	1.172	1.533
26	2.056	1.300	1.171	1.522
27	2.052	1.293	1.170	1.513
28	2.048	1.286	1.170	1.504
29	2.045	1.280	1.169	1.496
30	2.042	1.274	1.168	1.488
31	2.040	1.268	1.168	1.481
32	2.037	1.263	1.167	1.474
33	2.035	1.258	1.167	1.467
34	2.032	1.253	1.166	1.461
35	2.030	1.248	1.166	1.455
36	2.028	1.244	1.165	1.450
37	2.026	1.240	1.165	1.444
38	2.024	1.236	1.165	1.439
39	2.023	1.232	1.164	1.435
40	2.021	1.228	1.164	1.430
41	2.020	1.225	1.164	1.425
42	2.018	1.222	1.163	1.421
43	2.017	1.218	1.163	1.417
44	2.015	1.215	1.163	1.413
45	2.014	1.212	1.163	1.410
46	2.013	1.210	1.162	1.406
47	2.012	1.207	1.162	1.403
48	2.011	1.204	1.162	1.399
49	2.010	1.202	1.162	1.396
50	2.009	1.199	1.161	1.393
51	2.008	1.197	1.161	1.390
52	2.007	1.195	1.161	1.387
53	2.006	1.192	1.161	1.384
54	2.005	1.190	1.161	1.381
55	2.004	1.188	1.160	1.379
56	2.003	1.186	1.160	1.376
57	2.002	1.184	1.160	1.374
58	2.002	1.182	1.160	1.371
59	2.001	1.180	1.160	1.369
60	2.000	1.179	1.160	1.367





**c) EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN LOGARÍTMICA**

Para evaluar una correlación Logarítmica, deberá considerar una ecuación de la forma:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * Ln(x) \quad \text{Ecuación 46}$$

Considera la transformación logarítmica de cada valor de respuesta de material particulado del CEMS, usando la siguiente ecuación:

$$x'_i = Ln(x_i) \quad \text{Ecuación 47}$$

**Donde:**

$x'_i$  : Es el valor transformado de  $x_i$

$Ln(x_i)$ : Es el logaritmo natural de la respuesta MP del CEMS para el ensayo  $i$ .

Usando los valores de  $x'_i$  en lugar de los valores de  $x_i$ , se deben ejecutar los mismos cálculos para desarrollar la ecuación de correlación lineal, descrita en párrafo a) quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x' \quad \text{Ecuación 48}$$

**Donde:**

$x'$  : Es el logaritmo natural de la respuesta del material particulado del CEMS-MP  $x_i$ ; y las variables las variables  $b_0$ ,  $b_1$ , y  $x$  son definidos en a).

Usando los valores de  $x'_i$  en lugar de los valores de  $x_i$ , calcular el rango medio de Intervalo de Confianza al valor promedio de  $x'_i$ , como porcentaje del límite de emisión (%CI), el rango medio del Intervalo de Tolerancia del valor medio de  $x'_i$  como un porcentaje del límite de emisión (%TI) y el coeficiente correlación ( $r$ ) usado en los procedimientos descritos en a).

**d) EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN EXPONENCIAL**

Evaluar la Correlación Exponencial, con la siguiente ecuación:

$$\hat{y} = b_0 e^{b_1 x} \quad \text{Ecuación 49}$$

Realizar una transformación logarítmica de cada medición de material particulado (valores  $y_i$ ) según:

$$y'_i = Ln(y_i) \quad \text{Ecuación 50}$$

**Donde:**

$y'_i$  : Es el valor transformado de  $y_i$ .

$Ln(y_i)$  : Es el logaritmo natural de la medición de concentración de material particulado para el ensayo ó corrida  $i$

Usando los valores para  $y'_i$  en el lugar de los valores de  $y_i$ , realizar los mismos procedimientos para desarrollar la ecuación de correlación lineal descrita en a), la ecuación lineal será la siguiente:

$$\hat{y}' = b'_0 + b_1 * x \quad \text{Ecuación 51}$$

**Donde:**

$\hat{y}$ : Es el logaritmo del valor de la concentración de material particulado estimado.

$b'_0$  = Logaritmo natural de  $b_0$ , y las variables  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $X$  son definidos como en a).

Usando los valores para  $\hat{y}_i$  en el lugar de los valores de  $y_i$  definidos según lo descrito en a), Calcular el rango medio del Intervalo de Confianza (CI) del 95%, ecuación 18.

Luego calcular el valor mayor ( $UCL'$ ) y valor menor del ( $LCL'$ ) 95% del limite de confianza para el valor medio  $\hat{y}$  usando las siguientes ecuaciones:

$$LCL' = \hat{y} - CI' \quad \text{Ecuación 52}$$

$$UCL' = \hat{y} + CI' \quad \text{Ecuación 53}$$

**Donde:**

$LCL'$ : Limite menor de confianza del 95%, para el valor medio  $\hat{y}$ .

$UCL'$ : Limite mayor de confianza del 95%, para el valor medio  $\hat{y}$ .

$\hat{y}$ : El valor medio del logaritmo transformado de las concentraciones de material particulado.

$CI'$ : El rango medio del intervalo de confianza del 95% para la concentración de material particulado  $\hat{y}$ , calculada mediante la ecuación 18

$$CI = \frac{e^{UCL'} - e^{LCL'}}{2} \quad \text{Ecuación 54}$$

**Donde:**

$CI$ : El rango medio del Intervalo de Confianza del 95%.

Calcular en rango medio para el Intervalo de Confianza del 95%, para estimar la concentración de MP correspondiente al valor medio de  $X$ , como un porcentaje del límite de emisión (%CI), mediante la ecuación 20.

Usando los valores para  $\hat{y}$  en lugar de los valores para  $y_i$ , calcular el rango medio del Intervalo de Tolerancia (%TI), mediante la ecuación 23.

Luego calcular el rango medio del límite de tolerancia para el valor medio de  $\hat{y}$ , usando las siguientes ecuaciones:

$$LTL' = \hat{y} - TI' \quad \text{Ecuación 55}$$

$$UTL' = \hat{y} + TI' \quad \text{Ecuación 56}$$

**Donde:**

$LTL'$ : El 95% más bajo del límite de tolerancia para el valor medio  $\hat{y}$

$UTL'$ : El 95% superior del límite de tolerancia para el valor medio  $\hat{y}$

$\hat{y}$ : El valor medio de la transformación logarítmica de las concentraciones de MP.

$TI'$ : El rango medio del 95% del intervalo de tolerancia para para estimar la concentración de MP  $\hat{y}$ , calculada por la ecuación 21.



Calcular el rango medio del Intervalo de Tolerancia (TI) en la escala original de concentración de MP, con la ecuación:

$$TI = \frac{e^{UPL'} - e^{LPL'}}{2} \quad \text{Ecuación 57}$$

**Donde:**

**TI:** rango medio del Intervalo de Tolerancia del 95%, en la escala original de la concentración de MP.

Calcular el rango medio del Intervalo de Tolerancia para estimar la concentración del MP, correspondiente al valor medio de  $X$ , como porcentaje del límite de emisión (%TI), usando la ecuación 23.

Calcular el coeficiente de correlación ( $r$ ), usando el procedimiento indicado en a) empleando los valores para  $y'$  en lugar de los valores para  $y_i$ , usando la ecuación 24.

### e) EVALUACIÓN DE CORRELACIÓN POTENCIAL

Para calcular la correlación Potencial, se deberá seguir las siguientes ecuaciones:

$$\hat{y} = b_0 * x^{b_1} \quad \text{Ecuación 58}$$

Realizar las transformaciones logarítmicas de cada respuesta del CEMS para material particulado (valores  $X$ ) y cada concentración medida de MP (valores  $y$ ) usando las ecuaciones 47 y 50.

Usando los valores para  $X'$  en lugar de los valores para  $X_i$ , y los valores para  $y'$ , en lugar de los valores de  $y_i$ , realizar el mismo procedimiento para desarrollar la ecuación de correlación lineal, siendo la ecuación la siguiente:

$$\hat{y} = b'_0 + b_1 * x' \quad \text{Ecuación 59}$$

**Donde:**

$\hat{y}'$ : Valor logarítmico de la concentración de MP estimado.

$X'$ : Logaritmo natural de los valores de respuesta del CEMS-MP.

$b'_0$ : Logaritmo natural de  $b_0$  y las variables  $b_0$ ,  $b_1$ , y  $X$  son definidos en a).

Usando el mismo procedimiento descrito para modelos exponenciales, calcular:

- El rango medio del Intervalo de Confianza del 95%, de la concentración de MP estimado correspondiente al valor medio de  $X'$  como un porcentaje del límite de emisión.
- El rango medio del Intervalo de Tolerancia para la concentración de MP, estimada correspondiente al valor medio de  $X'$ , como un porcentaje del límite de emisión.

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

### 10.2.2.2 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA CORRELACIÓN

Para la aceptabilidad del modelo de curva de la correlación seleccionada para la representación de datos de emisión, se demostrará el coeficiente de correlación, porcentaje de Intervalo de Confianza y el porcentaje del Intervalo de Tolerancia, bajo los siguientes criterios.

**a) COEFICIENTE DE CORRELACIÓN**

Cualquiera sea el modelo (Lineal, Polinomial, Logarítmico, Exponencial y Potencial), de correlación seleccionado para representar los datos de emisión, debe cumplir lo siguiente:

**Tabla N°21 Coeficientes de Correlación Mínimo**

Tipo de Fuente	Coefficiente de Correlación Mínimo
Fuentes de Emisión Alta: Fuentes que superan el valor del 50% del LMP establecido.	0.85
Fuentes de Emisión Baja: Fuentes que no superan el valor del 50%, del LMP establecido.	0.75

**b) INTERVALO DE CONFIANZA**

De acuerdo al modelo de correlación debe cumplir el %CI siguiente:

**Tabla N°22 Intervalo de Confianza**

Correlación	Rango Medio del Intervalo de Confianza del 95% al valor medio de respuesta del CEMS-MP	%CI
Lineal y Logarítmica	Debe estar dentro del 10% del LMP establecido.	≤ a 10% Ecuación 20
Polinómica	Que corresponda al valor mínimo para delta $\Delta$ , debe estar dentro del 10% del LMP establecido.	≤ a 10% Ecuación 40
Exponencial y de Potencia	Debe estar dentro del 10% del LMP establecido.	≤ a 10% Ecuación 20

**c) INTERVALO DE TOLERANCIA**

De acuerdo al modelo de correlación debe cumplir el %TI siguiente:

**Tabla N°23 Intervalo de Tolerancia**

Correlación	Rango Medio del Intervalo de Confianza del 95% al valor medio de respuesta del CEMS-MP	%TI
Lineal y Logarítmica	El rango medio de 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 valores está dentro del 25% del LMP establecido.	≤ a 25% Ecuación 23
Polinómica	El rango medio de Intervalo de Tolerancia 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 LMP establecido.	≤ a 25% Ecuación 44
Exponencial y de Potencia	El rango medio de Intervalo de Tolerancia del 95% de confianza, de que el 75% de cobertura al valor medio del logaritmo de valores de respuesta del CEMS-MP, para la prueba de correlación, debe estar dentro del 25% del LMP establecido.	≤ a 25% Ecuación 23

**10.2.2.3 EXTRAPOLACIÓN DE LA CORRELACIÓN**

Las fuentes de emisión durante los ensayos de correlación, deben operar en condiciones normales para la obtención de datos. Se requerirán ensayos de correlación adicionales, en los siguientes casos:



#### a) En fuentes de baja emisión

- Si durante 24 horas consecutivas, la fuente genera respuesta del CEMS-MP superiores al 125% de la más alta respuesta del CEMS-MP, usada para la curva de correlación o son mayores que la respuesta del CEMS-MP, correspondiente al 50% del LMP establecido.
- Si se supera 125% por más del 5% de las horas de operación en los 30 días previos.

#### b) En fuentes de no baja emisión

- Si durante 24 horas consecutivas, la fuente genera respuesta del CEMS-MP superiores al 125% de la más alta respuesta del CEMS-MP, usada para la curva de correlación.
- Si se supera 125% por más del 5% de las horas de operación, en los 30 días previos.

Los ensayos de correlación adicionales que se realicen deben ser mínimo tres, bajo las condiciones que ocasionaron la respuesta elevada del CEMS-MP. En caso se realicen los ensayos de correlación adicionales, se deben informar estos, así como el suceso y la causa más probable, a la autoridad ambiental competente, en el caso esta adopte el presente protocolo.

### 10.2.3 MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

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 plantilla de cálculo de correlaciones y QA "Correlation spreadsheet and Q&As for PS-11 and Procedure 2", elaborada por la EPA (<http://www3.epa.gov/ttn/emc/prompspec11.html>), "PS-11 CT calcs-ver 2-6.xls", (desarrollada por el Sr. Dan Bivins experto del Emission Measurement Center de US-EPA).

### 10.2.4 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (QA) CEMS-MP

Las actividades de aseguramiento de calidad, son procedimientos que evalúan y garantizan el cumplimiento de los sistemas implementados de Control de Calidad (QC) del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones de Fuentes Estacionarias (CEMS). Estas actividades son ejecutadas y demostradas para cumplir los requisitos de calidad y proporcionar la confianza de los resultados del sistema de medición, estimando la precisión de los mismos.

El titular de la fuente desarrollará e implementará un Programa de Calidad para los CEMS-MP, que debe incluir a detalle los procedimientos y las operaciones de las actividades importantes realizadas.

El Programa de Calidad debe contener mínimamente lo siguiente:

- Chequeos diarios en margen de error en cero y en escala superior de los instrumentos, volumen y sus respectivos ajustes.
- Ejecutar programas de mantenimiento preventivo y relación de repuestos a cambiar en el tiempo recomendado por el fabricante.
- Ejecutar el mantenimiento correctivo por falla, según datos de alarmas alertados.
- Verificar la conformidad de los registros de datos cálculos y reportes.
- Establecer los procedimientos de auditorías de todos los métodos de muestreo, medición, análisis y las condiciones del ensayo para evaluar la respuesta del CEMS-MP, basados en los resultados de estas, las cuales debe responder a los límites de los criterios de aceptación de las auditorías.
- Para los CEMS-MP de tipo extractivo, se incluirá los procedimientos para el chequeo de los ductos del sistema respecto a la acumulación de material.

Los criterios para conocer si los procedimientos de Control de Calidad (QC) son aceptables para el CEMS-MP, son los siguientes:

Si el CEMS-MP no cumple los criterios de aceptación de 2 auditorías de QC consecutiva (esto es, condiciones fuera de control resultantes de las auditorías anuales, trimestrales o chequeos diarios), en ese caso considerar que los procedimientos de QC son inadecuados o el CEMS-MP es incapaz de proporcionar datos de calidad. Esto amerita la revisión de los procedimientos de QC o corregir, modificar o reemplazar el CEMS-MP.



El Control de Calidad (QC), se realizan obligatoriamente para obtener datos confiables y representativos, con exactitud y precisión. Como parte del Control de Calidad el titular de la fuente contará con los siguientes manuales y documentación de procedimientos:

- Manual de instrucciones operativas para cada equipo y elementos de medición.
- Manual de funciones y responsabilidades del personal autorizado de la operación del CEMS.
- Procedimiento para el mantenimiento preventivo y relación de repuestos cambiables.
- Procedimiento de calibración y certificación del equipo.
- Procedimiento de validación.
- Procedimiento para el tratamiento de datos, revisión y validación de datos.
- Procedimientos de chequeos diarios (lista de chequeos, inventario y archivo de documentación).
- Sistemas establecidos de control de documentos que involucra todo el proceso de medición y actividades complementarias.
- Procedimiento de comunicación de datos.
- Procedimiento para auditorías y acciones correctivas.
- Registro de datos, cálculos y reportes.

### 10.2.4.1 CHEQUEOS

El CEMS-MP deberá ser capaz de ejecutar chequeos diarios (forman parte del Aseguramiento de Calidad) para determinar el Margen de Error en cero y en escala superior. Los chequeos de preferencia deberán ser ejecutados en forma automática. Además, el CEMS-MP deberá ser capaz de generar alarmas respecto al estado anómalo del instrumento, enviando dicha información al registrador de datos.

Los chequeos diarios, permiten asegurar la correcta operación del equipamiento CEMS-MP, que incluye la electrónica, óptica del sistema, fuentes, detectores de luz y radiación, entre otros; es por ello que se debe, como mínimo, verificar los parámetros de operación del sistema en forma diaria.

- Chequear diariamente el error en cero y en escala superior, proceder al ajuste del CEMS-MP cada vez que se exceda en 4%, el valor del estándar.
- Registrar los datos de respuesta antes de ejecutar cualquier ajuste. Si los ajustes fueran automáticos, el sistema debe registrar los valores antes del ajuste.
- En los CEMS-MP del tipo dispersión y extinción de luz, se deberá chequear diariamente la óptica del sistema de medición y asegurar que la respuesta no ha sido alterada.
- Para los equipos que se obtiene el volumen y es usado para el cálculo del valor de salida, deberá ser chequeado diariamente en la tasa de muestreo normal y deberá ser ajustado cada vez que el chequeo diario exceda 10%.

### 10.2.4.2 PROCEDIMIENTO PARA AUDITORÍAS

Las auditorías deben ser realizadas de acuerdo a lo establecido en el PS-11, asimismo debe considerarse los criterios mencionados en este numeral para cada auditoria en particular:

#### a) Auditoría de Correlación Absoluta (ACA)

Se realiza mediante el siguiente procedimiento:

Contrastar del CEMS-MP, en cada punto de auditoría con un estándar de auditoria o una referencia de auditoría equivalente, para reproducir la medición del MP del CEMS, en tres puntos, dentro de los siguientes rangos:

Tabla N°24 Punto de Auditoría

Punto de Auditoría	Rango de Auditoría
1	0 a 20% del rango de medición
2	40 a 60% del rango de medición
3	70 a 100% del rango de medición.



- Contrastar tres veces el CEMS-MP en cada punto de auditoría y utilizar el promedio de las tres respuestas de cada punto, en la determinación de precisión en cada punto de auditoría.
- Usar un estándar de auditoría diferente para cada uno de los puntos de auditoría. Estos se deben almacenar, mantener y usar de acuerdo a lo recomendado por el fabricante.
- Las respuestas deben ser por un periodo suficiente, en cada punto de auditoría, para asegurar su estabilidad.
- Se debe operar el CEMS-MP del modo, manera y rango que especifica el fabricante.

Determinar la precisión de la Auditoría de Correlación Absoluta (ACA), usar la diferencia entre el valor conocido real del estándar de Auditoría y la respuesta del CEMS-MP, para evaluar la precisión de este de acuerdo a:

$$\text{Precisión de la } ACA = \frac{|\bar{R}_{CEM} - R_V|}{R_V} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 60}$$

**Donde:**

Precisión de la ACA: La precisión del ACA, en porcentaje, en cada punto de auditoría.

$\bar{R}_{CEM}$ : Promedio de la respuesta del CEMS-MP al estándar de referencia, en cada punto.

$R_V$ : Valor estándar de referencia.

#### b) Auditoría de Volumen de Muestra (AVM)

La Auditoría del Volumen de Muestra, se realizará según el siguiente procedimiento:

- Medir con un dispositivo calibrado, el volumen de la muestra de gas extraído para cada ciclo de proceso por lotes o período de tiempo. Esta medición se realizará a la entrada o salida del CEMS-MP, se medirá el volumen de la muestra de gas sin ninguna dilución de aire.
- Comparar el volumen medido por el dispositivo calibrado y el reportado por el CEMS-MP, para el mismo ciclo de proceso por lotes o periodo de tiempo y calcular la precisión del volumen de la muestra.
- Realizar mediciones durante tres ciclos de muestreo para los sistemas extractivos por lote (tales como tecnología de atenuación beta) o durante tres períodos de al menos 20 minutos en CEMS-MP extractivos continuos.
- Los volúmenes medidos por el dispositivo calibrado y el CEMS-MP, deben ser consistentes en presión, temperatura y humedad, para lo cual se deberá documentar todos los datos y los cálculos, en caso sea necesario se debe corregir los volúmenes de gas medidos tanto por el CEMS-MP como el MR.
- Medir la humedad de la muestra de gas, para luego corregir los resultados del contenido de humedad; de ser necesario se podrá condensar, recolectar y medir la humedad del gas de muestra previo al dispositivo de medición calibrado.

Para calcular la precisión en porcentaje del AVM, para cada uno de las tres pruebas o la revisión diaria del volumen de la muestra, se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Precisión de la } AVM = \frac{(V_R - V_M)}{FS} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 61}$$

**Donde:**

$V_M$ : Volumen determinado de muestra de gas reportado por el CEMS-MP, por ejemplo cm<sup>3</sup> seco.

$V_R$ : Volumen de muestra de gas medido por el dispositivo de referencia independiente calibrado, para AVM o el valor de referencia para el control de la muestra de volumen diario.

$FS$ : Valor de escala total o completa.



### c) Auditoría de Respuesta Relativa (ARR)

Realizar mediante el siguiente procedimiento:

- Recopilar tres mediciones simultáneas de la concentración de material particulado con el Método de Referencia y el CEMS-MP, en las condiciones de funcionamiento normal de la fuente.
- Usar mediciones pareadas para el Método de Referencia.

El titular de la fuente puede reemplazar la ARR por una ACR en el trimestre en curso.

### d) Auditoría de Correlación de Respuesta (ACR)

La Auditoría de Correlación de Respuesta se realizará de acuerdo con los procedimientos para la prueba de Correlación del CEMS-MP, descritas en los numerales 10.2.2 (Ensayos de correlación) y 10.2.2.1 (Ecuaciones ensayos de correlación), considerando un mínimo de 12 ensayos.

## 10.2.4.3 ACEPTACIÓN DE LAS AUDITORÍAS

### a) ACEPTACIÓN

Los criterios de aceptación de las auditorías son las siguientes:

#### 1) Margen de Error en Cero (EC) y en Escala Superior (ES):

El CEMS-MP está fuera de control, si el margen de error en cero o en escala superior, supera en 4% en cinco períodos diarios consecutivos, o bien supera en 8% para cualquier día. El ES se calcula de acuerdo a la ecuación 8 y el EC de acuerdo a la ecuación 9.

#### 2) Auditoría de Correlación Absoluta (ACA)

El CEMS-MP se considera fuera de control, si el resultados de cualquier ACA excede el  $\pm 10\%$  del valor promedio de la auditoría ó el 7.5% el estándar aplicable (Ecuación 60).

#### 3) Auditoría de Volumen de Muestra (AVM)

El CEMS-MP está fuera de control, si el chequeo del volumen de muestra excede 10% por cinco períodos diarios consecutivos, ó excede el 20% para un día cualquiera. (Ecuación 61).

#### 4) Auditoría de Respuesta Relativa (ARR)

El CEMS-MP está fuera de control en los siguientes casos:

- Si el valor de respuesta del CEM-MP de uno de los tres puntos de datos, es mayor que el valor de respuesta más alto usado para desarrollar la curva de correlación.
- Si el valor de respuesta de CEM-MP, de dos de los tres puntos de datos, está fuera del rango de salida del CEMS-MP usado para desarrollar la curva de correlación.
- Si el valor de respuesta del CEMS-MP, para dos de las tres series de mediciones del CEMS-MP y Método de Referencia, caen fuera de la misma área especificada, de un gráfico de la recta de regresión de correlación, según lo requerido por la ACR, descrita en el numeral 5, tercer párrafo.

#### 5) Auditoría de Correlación de Respuesta (ACR)

El CEMS-MP está fuera de control en los siguientes casos:

- Si para uno de los 12 puntos de datos el valor de la respuesta del CEMS-MP, es mayor que el valor de respuesta más alto usado para desarrollar la curva de correlación.
- Si más de 3 datos de los 12 puntos considerados, están fuera del rango de salida de MP del CEMS-MP, utilizado para desarrollar la curva de correlación.
- Si menos del 75% de un número mínimo de 12 conjuntos de mediciones del CEMS-MP y del Método de Referencia, se encuentran dentro de un área especificada de un gráfico de la línea o recta de regresión de correlación, definida por dos rectas paralelas a la curva de correlación, separadas a una distancia de  $\pm 25\%$  del límite del valor numérico de la línea o curva de regresión de correlación.

Cuando el CEMS-MP se encuentra "fuera de control", se deberá realizar lo siguiente:



- Efectuar la acción correctiva necesaria y realizar ensayos, para asegurar que la acción correctiva fue exitosa.
- Repetir la auditoría no aceptada, para confirmar que el CEMS-MP está operando dentro de las especificaciones.
- Si el CEMS-MP no cumple los criterios de aceptación de una ARR, efectuar una acción correctiva hasta que apruebe los criterios de ARR, si luego de realizada la acción correctiva los criterios de la ARR no se pueden cumplir, entonces realizar una ACR.
- Si el CEMS-MP no cumple los criterios de aceptación de una ACR, entonces referirse a los procedimientos que se indican en el PS-11 para ACR o a los siguientes criterios:

Combinar los datos de la ACR con los datos de la correlación del CEMS-MP, efectuar las evaluaciones y desarrollar una correlación del CEMS-MP, que incluya el análisis de modelos de correlación Lineal, Polinomial, Logarítmico, Exponencial y de Potencia. Si los datos y la correlación cumplen los criterios estadísticos, use la correlación revisada.

En caso no se cumpla los criterios estadísticos, desarrollar una nueva correlación del CEMS-MP, basándose en los datos revisados. Estos deberán estar constituidos solamente de los resultados de la ACR. Los nuevos datos podrán considerar un número menor de sets de mediciones del CEMS-MP y Método de Referencia, en vez del mínimo de 15 sets requerido por el PS-11.

Si luego del procedimiento, no resulta una correlación aceptable, se evaluará la causa y se realizarán las acciones indicadas, dentro de 90 días hábiles después de completar la ACR no aceptada:

Inspeccionar el CEMS-MP, para reconocer problemas mecánicos u operacionales. Si se encuentra un problema mecánico u operacional, repararlo y repetir la ACR.

En caso sea necesario reubicar el CEMS-MP a un lugar de medición más apropiado. Se deberá realizar un nuevo ensayo de correlación, de acuerdo con los procedimientos especificados en el protocolo.

Si se verifica que las características del MP o gas en el flujo de combustión de la fuente cambiaron, es posible que la tecnología de medición del CEMS-MP ya no sea apropiada. Si éste es el caso, se debe instalar un nuevo CEMS-MP con tecnología de medición apropiada para las características del gas de combustión de la fuente y realizar un nuevo ensayo de correlación.

Si las acciones correctivas tomadas, no fueron exitosas, se podrá proponer la evaluación y/o uso de métodos alternativos o una opción para el monitoreo continuo de MP.

El período fuera de control termina cuando el último ensayo o verificación de auditoría o chequeo de Margen de Error, sea completado con éxito. Los datos registrados por el CEMS-MP durante un período fuera de control, serán considerados inválidos.

Toda información y acciones tomadas durante un periodo fuera de control deberán ser documentadas, almacenadas y estar disponibles en caso sea requerido hasta por un período de 5 años.

#### 10.2.4.4 FRECUENCIA Y ORDEN DE LAS AUDITORÍAS

Para el CEMS-MP, se tendrá los siguientes criterios:

Tabla N° 25  
Frecuencia de las Auditorías en el CEMS-MP

Auditoría	Frecuencia de realización
Auditoría de Correlación Absoluta (ACA)	Trimestralmente, con no menos de dos meses de separación o según se requiera.
Volumen de Muestra (AVM)	Trimestralmente, con no menos de dos meses de separación o según se requiera.
Auditoría de Respuesta Relativa (ARR)	Uno por año, con no menos de 9 meses de separación o según se requiera.
Auditoría de Correlación de Respuesta (ACR)	Una cada tres años, con no menos de 30 meses de diferencia o según se requiera.



En los chequeos periódicos, las auditorías realizadas con mayor frecuencia pueden ser reemplazadas por aquellas de menor frecuencia, al coincidir las fechas de ejecución.

**El Orden de Ejecución y Aceptación será el siguiente:**

- 1) Realizar y cumplir los criterios de la Auditoría de Correlación Absoluta (ACA) para proceder a la de Volumen de Muestra (AVM).
- 2) Antes de la Auditoría de Correlación de Respuesta (ACR) y Auditoría de Respuesta Relativa (ARR), se debe realizar y cumplir los criterios de la Auditoría de Volumen de Muestra (AVM).

El orden de aceptación será de tal forma, que si no cumple con la ejecución y los criterios de aceptación de la primera auditoría, no se podrá continuar con la siguiente auditoría.

### 10.3 PARA SISTEMAS DE MONITOREO CONTINUO DE OPACIDAD

Los criterios para el funcionamiento, aseguramiento y validación del CEMS-OP se desarrollarán de acuerdo a lo establecido en la PS-1 del anexo B de la CFR 40 parte 60 y principalmente son los siguientes:

- El titular de la fuente o propietario del sistema CEMS-OP, implementará un monitor de opacidad que cumpla con la metodología "ASTM D 6216-98"; asimismo deberá obtener un certificado de conformidad del fabricante del monitor de opacidad.
- Se implementarán un mínimo de 3 atenuadores de calibración (filtros de densidad neutra), los cuales podrán ser del tipo primario o secundario, tal que cumplan los requerimientos especificados en este protocolo, para efectos de su calibración según lo contemplado en el PS-1. Estos atenuadores deberán contar con calibración vigente.
- Los CEMS-OP se calibrarán directamente, realizando una comparación gravimétrica de la respuesta del equipo frente al método NTP 900.005.
- 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.

Para los CEMS-OP que se encuentren validados, el titular de la fuente desarrollará e implementará un sistema de aseguramiento de calidad, que debe incluir a detalle los procedimientos y las operaciones de las auditorías de funcionamiento y los límites aplicables a las pruebas realizadas.

Las pruebas requeridas para el sistema de Aseguramiento de Calidad en CEMS-OP, son las siguientes:

- a) Chequeo de desviación del cero (o valor de nivel bajo), entre 0 y 20 por ciento del valor del rango de escala, y el chequeo de desviación del valor span (o de nivel alto), entre 50 al 100 por ciento del valor del rango de escala, las cuales serán de frecuencia diaria.

Se deberá chequear automáticamente las desviaciones de calibración del cero y span, de ser necesario ajustarlos siempre que, la desviación de cero y la de span en 24 horas, sobrepasen dos veces el límite de aceptación correspondiente, esto es 2% dentro del periodo de 24 horas.

- b) Pruebas de funcionamiento y auditorías de campo, de frecuencia anual, que incluyen mínimamente la alineación óptica y el error de calibración.

#### 10.3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y AUDITORÍAS DE CAMPO

Luego de la instalación del CEMS-OP, se realizarán las "Pruebas de funcionamiento y Auditoría de campo" y luego realizar el "Periodo de prueba operacional", a fin de determinar la aceptabilidad o validación del CEMS-OP.

Realizar los siguientes ensayos:

**1) Evaluación de Alineación Óptica:**

Comprobación de que todos los dispositivos de indicación de alineación, muestren una alineación apropiada, se debe registrar los resultados de la alineación.

## 2) Chequeo de Error de Calibración:

Realizarlo en tres niveles (bajo, medio y alto nivel), utilizando para ello los atenuadores o filtros adquiridos, los que deberán contar con calibración vigente.

Es necesario:

- Confirmar que el dispositivo de auditoría externa, produzca el valor de cero apropiado en el registrador de datos del CEMS-OP.
- 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.

Utilizando las ecuaciones indicadas en el PS-1 calcular:

- La diferencia media aritmética, la desviación estándar y el Coeficiente de Confianza de las 5 mediciones.
- 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.

Reportar los resultados de las pruebas de error de calibración para cada uno de los 3 atenuadores, de tal forma que el error de calibración debe ser menor a 3% de opacidad para cada uno de ellos.

## 3) Chequeo del tiempo de respuesta del sistema:

Se realizará 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.

Es necesario:

- Medir la cantidad de tiempo requerida, para cada inserción y extracción del filtro, para que el CEMS-OP indique el 95 por ciento de cambio de un paso en la opacidad del registrador de datos del CEMS-OP.
- Medir el tiempo desde la inserción, para el tiempo de respuesta de máximo de escala, para indicar el 95 por ciento de la lectura final y estable de máximo de escala.
- Medir el tiempo desde la extracción, para el tiempo de respuesta de mínimo de escala, hasta indicar el 5 por ciento de la lectura inicial de máximo de escala.
- Calcular la media de las cinco mediciones tanto para el tiempo de respuesta de máximo de escala como para el 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 CEMS-OP.

## 4) Cálculo de periodo de promedio y chequeo de registros:

Luego del chequeo de error de calibración, realizar el cálculo del periodo de promedio de acuerdo a lo establecido en el PS-1.

### 10.3.2 PERÍODO DE PRUEBA OPERACIONAL

Luego de las pruebas de funcionamiento del numeral 10.3.1, se operará el CEMS-OP por un periodo de prueba inicial de 168 horas (7 días), bajo condiciones normales de operación, tiempo en que deberá demostrar el cumplimiento de los resultados de los siguientes ensayos de acuerdo a lo considerado en la PS-1:

#### 1) Prueba de Desviación de Calibración de Cero





## 2) Prueba de Desviación de Calibración de Span

Es necesario:

- Incluir los periodos de parada de la fuente en la prueba operacional de 168 horas.
- Calcular la media aritmética, desviación estándar y Coeficiente de Confianza, para la calibración cero y span, de las desviaciones en 24 horas utilizando las ecuaciones 1-3, 1-4 y 1-5 del PS-1, al final del periodo de 168 horas.
- Calcular 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 un CEMS-OP mida opacidad y concentración de material particulado y; entregue resultados en % de opacidad y en unidades de mg/m<sup>3</sup> y/o mg/Nm<sup>3</sup> de material particulado, deberá además dar cumplimiento al PS-11, según lo establecido en los ensayos de validación del CEMS-MP.

## 11 PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN, AUDITORÍA Y REVALIDACIÓN

### 11.1 PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS DE VALIDACIÓN

Se seguirá un orden para la ejecución de los ensayos de validación, de tal forma que si no cumple los criterios de aceptación del primer ensayo, no se podrá continuar con la ejecución del siguiente; asimismo se debe determinar el tiempo de respuesta de cada CEMS que se esté validando.

Tabla N° 26

#### Orden para los Ensayos de Validación del CEMS y Otros Parámetros

Por tipo del CEMS
<b>CEMSG y Medidor de Flujo</b> 1° Ensayo de la Desviación de la Calibración 2° Ensayo de Linealidad 3° Ensayo de Exactitud Relativa
<b>CEMS - MP</b> 1° Ensayos de Margen de Error 2° Ensayos de Correlación
<b>CEMS - OP</b> 1° Pruebas de Funcionamiento y Auditorías de Campo. 2° Periodo de Prueba Operacional



### 11.2 PROGRAMACIÓN DE LAS AUDITORÍAS

La auditoría del CEMSG consiste en al realización del ensayo ER y es de frecuencia periódica, cada 12 meses. La primera se realizará a los 12 meses a partir de la fecha de finalización del ensayo de la validación inicial.

Las auditorías del CEMS-MP consiste en al realización de los ensayos ACA, AVM, ARR, ACR, cuyas frecuencias se establece en el numeral 10.2.4.4 de este protocolo.

La auditoría del CEMS-OP consiste en al realización de las pruebas de funcionamiento y auditorías de campo y es de frecuencia anual, debiéndose realizar además, la Prueba Operacional.

### 11.3 REVALIDACIÓN DEL SISTEMA CEM

La revalidación del sistema CEM involucra la realización de todos los ensayos, igual que la validación inicial, los cuales se detallan en el numeral 11.1, se realiza en los siguientes casos:

- Al término del año de la validación inicial, plazo contabilizado a partir de la fecha de validación inicial del CEM.
- Al realizar una sustitución, reemplazo o modificación de una parte o componente del CEMS, que pueda afectar la capacidad del sistema para medir con precisión los parámetros ya validados.
- Al realizar una sustitución, modificación o algún cambio en el sistema de canalización del flujo de gases.
- Al realizar algún cambio en el funcionamiento de la fuente que pueda cambiar significativamente el flujo o el perfil de concentración.
- Cuando se realice la sustitución de un analizador o de todo el sistema.
- Cuando se cambie la ubicación o la orientación de la sonda de muestreo.
- En el caso que la autoridad ambiental competente, adopte el presente protocolo y determine situaciones de intervenciones en el CEMS, que ameriten su revalidación.

## 12 SISTEMA DE CONTROL, OBTENCIÓN, ALMACENAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS

### 12.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN, TRATAMIENTO Y COMUNICACIÓN (SATC)

Los sistemas CEM, deben incorporar un sistema de control, que es el sistema de adquisición, tratamiento de los datos y comunicación. Este sistema debe contar con un procesador de datos o datalogger, que es el controlador de procesos inteligentes, con entradas y salidas para las señales eléctricas, con acondicionamiento para adición de módulos de comunicación y que permite incorporar las funciones de mando de válvulas del sistema de muestras, gestión de alarmas tanto para los analizadores, como el conjunto del sistema de medición. El SATC además, debe contar con un sistema para validación y almacenamiento de datos, verificación del estado de los analizadores y de los otros componentes en forma remota, visualización en pantalla de los gráficos, la transmisión de los resultados de la concentración de los parámetros evaluados a los operadores y autoridades competentes.

En general, cada sistema de adquisición de datos del CEMS debe consistir de lo siguiente:

- PLC, para el control de la sonda o probeta, del sistema de acondicionamiento de muestra, de los analizadores, los gases de calibración, flujos y otros parámetros.
- Datalogger, que permita procesar, almacenar y reportar la data monitoreada.

Las consideraciones requeridas para el sistema de control, adquisición y tratamiento de los datos son:

- Debe ser capaz de reportar los resultados de la medición de las emisiones en concordancia a lo establecido en la CFR 40 Parte 60, Apéndice B y Parte 75, Apéndice A y B.
- Permitir la visualización de los datos en tiempo real.
- Permitir la programación de calibraciones automáticas.
- Chequeo o verificación de la calibración.
- Reporte estadístico de valores y gráficos de tendencias.
- Incluir procedimientos automatizados de validación de datos.
- Efectuar el cálculo de las emisiones.
- Permitir la activación remota de los procesos.
- Contar con registro de eventos.
- Control y registro de las calibraciones.

Las consideraciones requeridas para el registrador de datos ambientales o datalogger son:

- Ser versátil y multiplataforma.
- Capaz de interrogar cualquier fuente de datos.
- Poseer potentes capacidades de comunicación.
- Contar con interface simplificada, funcional y segura.

### 12.2 OBTENCIÓN DE DATOS

Las mediciones en su totalidad se registrarán, procesarán y presentarán de manera adecuada, para que se verifique el cumplimiento de las exigencias que competen cumplir en el manejo de datos obtenidos de los CEMS.



Asimismo se tendrán los siguientes criterios:

**a) Datos crudos**

Es la información con resolución de un minuto, obtenida directamente de los equipos de monitoreo, sin filtro alguno, esta servirá como base para elaborar los promedios validados de mayor período.

**b) Valores promedio horarios validados**

- Se determinarán tomando en cuenta solo el tiempo de funcionamiento real, sin considerar el periodo de puesta en marcha o parada, los cuales serán definidos específicamente y reportados.
- Se calcula a partir del promedio aritmético de al menos 3 valores promedios validados de 15 minutos, obtenidos dentro del rango de la hora a validar. La falta de más de un valor promedio validado de 15 minutos, invalidará el valor promedio horario de dicho rango.

**c) Valores promedios validados de 15 minutos**

- Se determinarán tomando en cuenta solo el tiempo de funcionamiento real, sin considerar el periodo de puesta en marcha o parada, los cuales serán definidos específicamente y reportados.
- Se calcula a partir del promedio aritmético de al menos 12 valores "crudos" de 1 minuto, la falta de igual o más de 3 minutos de "valores crudos", invalidará a dicho promedio.

**12.3 ALMACENAMIENTO DE DATOS**

Toda información validada operacionalmente será almacenada y guardada por un mínimo de 3 años, mediante el uso de software y hardware apropiados, que permita la generación y acceso a los diversos reportes e informes, durante la validación, auditorías y cuando se requiera, con la finalidad de verificar los registros de las emisiones atmosféricas.

**12.4 REGISTRO DE DATOS**

Los sistemas de software y hardware para el almacenamiento de datos, es parte complementaria del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones y debe ser considerado para la validación del CEMS. Los sistemas de almacenamiento y registro de datos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Asegurar la inviolabilidad y la pérdida de los datos registrados.
- Tener el procedimiento automatizado de validación de datos.
- Debe ser capaz de manejar datos; calcular el promedio de datos, calcular emisiones y generar copias físicas y electrónicas de reportes o informes, así como de los registros de datos.
- Capaz de ser programable para la frecuencia de reporte y el tiempo promedio de los resultados de monitoreo.
- Debe generar y mantener reportes estadísticos de captura de datos crudos y validados.
- Contar con los registros que faciliten la correcta validación de los datos.
- Mantener registro de otros eventos.

**12.5 TRANSMISIÓN DE DATOS EN LÍNEA**

Los CEMS instalados podrán conectarse al sistema de gestión de calidad de aire o de vigilancia de emisiones a implementar para este fin por la autoridad ambiental nacional o la autoridad ambiental competente, en el caso esta adopte el presente protocolo, con el objetivo de transmitir los datos, resultados de las mediciones, calibraciones, validaciones, entre otra información solicitada, en línea y de ser el caso a tiempo real; para ello deberán contar con el protocolo de comunicación requerido para la conexión. Las pautas para la transmisión de los datos en línea y los casos en que amerita el envío de datos a tiempo real, serán establecidas por el operador del sistema.

Hasta la implementación del sistema de gestión de calidad de aire y vigilancia de emisiones en línea, la información generada por los CEMS se reporta en formato digital y escrito conteniendo los datos crudos del trimestre y los acumulados del año.



## 12.6 ANALISIS DE DATOS ANÓMALOS Y SUSTITUCIÓN DE DATOS PERDIDOS

Las fallas en la recolección de datos se dividen en:

- a) Falta de Datos, que se originan principalmente por causas no atribuibles al CEMS.
- b) Datos Anómalos, que se originan principalmente por causas atribuibles al CEMS.

En la tabla N°27, se detallan algunas fallas características de estos sistemas:

**Tabla N°27**  
**Causa de fallas de los CEMS**

TIPO DE FALLA	CAUSA
FALTA DE DATOS	Corte de energía.
	Caída del servidor.
	Error del software.
DATOS ANÓMALOS	Problemas de Span límite superior.
	Problemas de Span límite inferior.
	Corrección de datos.
	Errores por calibración
	Valor fuera del rango de medición.
	Mantenimiento del CEMS.
	Falla del equipo.

Los episodios de datos anómalos pueden ocurrir también en los siguientes casos:

Durante los procesos de validación de los CEMS, al término del año de la validación inicial o cuando el sistema no cumple los criterios de aceptación de las pruebas requeridas, así como en los fallos de las pruebas de Aseguramiento de Calidad o en los episodios de "Fuera de Control", en estos casos los datos obtenidos se consideran inválidos.

Para los casos detallados en a) y b) se aplicará la metodología para la sustitución de datos perdidos y el análisis de datos anómalos, según lo indicado en el CFR 40 parte 75 (75.30). Para ello se distinguen dos etapas en el funcionamiento de los CEMS:

- Etapa "Inicial": posterior a la validación y durante las primeras horas requeridas de datos válidos, para el cual se sigue el procedimiento de sustitución inicial.
- Etapa "Estándar": posterior a la validación y posterior a las primeras horas requeridas de datos válidos, para el cual se sigue el procedimiento de sustitución estándar

Se establecen dos casos para las primeras horas requeridas de datos válidos:

**Tabla N°28**  
**Primeras horas requeridas de datos válidos, posterior a la validación de los CEMS**

CASO	PARAMETRO DEL CEMS	HORAS REQUERIDAS DE DATOS VÁLIDOS
1	SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO y COV	720 horas (30 días)
2	NO <sub>x</sub> , flujo y CEM-MP	2160 horas (90 días)

### 12.6.1 PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN DE DATOS PARA LA ETAPA INICIAL

En las Tablas N°29 y N°30, se detallan los procedimientos para completar la falta de datos originados en esta etapa, para cada uno de los casos.



**Tabla N°29**  
**Métodos de Sustitución para Etapa Inicial en el Caso 1**

CONDICIÓN		MÉTODO DE SUSTITUCIÓN
Existen datos válidos previos		Sustituir cada dato perdido por el promedio horario de los datos de la hora antes y después del intervalo de datos perdidos.
No existen datos válidos previos	Para:	Sustituir cada hora perdida por :
	SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, COV	Máximo potencial (*).
	O <sub>2</sub>	Mínimo potencial (*).
	Humedad	Mínimo potencial (*).

(\*) Determinado mediante el Apéndice A de la CFR 40, parte 75.

**Tabla N°30**  
**Métodos de Sustitución para Etapa Inicial en el Caso 2**

CONDICIÓN	MÉTODO DE SUSTITUCIÓN
Existen datos válidos previos	Sustituir cada hora perdida por el promedio aritmético de todos los datos horarios válidos previos.
No existen datos válidos previos	Sustituir cada hora perdida por: Máximo potencial (*).

(\*) Determinado mediante el Apéndice A de la CFR 40, parte 75.

### 12.6.2 PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN DE DATOS PARA LA ETAPA ESTÁNDAR

En las Tablas N°31 y N°32, se detallan los procedimientos para completar la falta de datos originados en esta etapa, para cada uno de los casos.

**Tabla N°31**  
**Métodos de Sustitución para Etapa Estándar en el Caso 1**

CONDICIÓN		FORMA DE CÁLCULO		
Disponibilidad de datos de monitoreo (%)	Duración en horas de intervalo de pérdida de datos	Método	Intervalo de referencia	
Mayor o igual a 95	Menor o igual a 24 h	Promedio	HA/HD	
	Mayor a 24 h	Para SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O, el mayor de:		
		Promedio	HA/HD	
		Percentil 90	720 h *	
		Para O <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O el menor de:		
	Percentil 10	720 h *		
Mayor o igual a 90 y menor a 95	Menor o igual a 8 h	Promedio	HA/HD	
	Mayor a 8h	Para SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O, el mayor de:		
		Promedio	HA/HD	
		Percentil 95	720 h *	
		Para O <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O el menor de:		
	Promedio	HA/HD		
Percentil 5	720 h *			





Mayor o igual a 80 y menor a 90	Mayor o igual a 1h	Para SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O	
		Máximo valor	720 h *
		Para O <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O	
		Mínimo valor de ambos parámetros	720 h*
Menor a 80	Mayor o igual a 1h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración máxima potencial para SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, o</li> <li>Concentración mínima potencial Para O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.</li> </ul>	Ninguno

HA/HD : Una hora antes y una hora después del intervalo de pérdida de datos del CEMS

\* Horas de monitoreo de calidad asegurada.

**Tabla N°32**  
**Métodos de Sustitución para Etapa Estándar en el Caso 2**

CONDICIÓN		FORMA DE CÁLCULO		
Disponibilidad de datos de monitoreo (%)	Duración en horas de intervalo de pérdida de datos	Método	Intervalo de referencia	Rango de carga
Mayor o igual a 95	Menor o igual a 24h	Promedio	2160 h *	Si
	Mayor de 24 h	El mayor de:		
		Promedio	HA/HD	No
		Percentil 90	2160 h *	Si
Mayor o igual a 90 y menor a 95	Menor a 8h	Promedio	2160 *	Si
	Mayor o igual a 8h	El mayor de:		
		Promedio	HA/HD	No
		Percentil 95	2160 h *	Si
Mayor o igual a 80 y menor a 90	Mayor o igual a 1h	Máximo valor durante el año en curso	2160 h *	Si
Menor de 80	Mayor o igual a 1h	Emisión máxima potencial de NO <sub>x</sub> (**), caudal máximo potencial	Ninguno	No

HA/HD : Una hora antes y una hora después del intervalo de pérdida de datos del CEMS

\* Horas de monitoreo de calidad asegurada

\*\* Determinado mediante CFR 40, parte 75 (75.33).

Para la determinación del porcentaje de horas de datos válidos (disponibilidad de datos de monitoreo), se utilizará la ecuación 62 para la aplicación de las Tablas N°31 y N°32, para cada parámetro medido.

$$\% \text{ de horas de datos válidos} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas con datos validados en el período acumulado desde la validación del CEM}}{\text{total de horas acumuladas desde la validación del CEM}} \times 100 \quad \text{Ecuación 62}$$

(Disponibilidad de datos)

### 13. CONVERSIONES DE UNIDADES

#### 13.1 DETERMINACIÓN DE EMISIONES EN MASA


En el caso de gases, la concentración es obtenida en ppm (partes por millón de volumen) y se debe convertir a  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , este valor se obtendrá multiplicando los ppm medidos mediante el CEMSG y el factor correspondiente al parámetro evaluado de la tabla N°33

**Tabla N°33**  
**Factor de Conversión de la Unidad de Concentración de (ppm a  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )**  
**A 25°C de la temperatura del gas**

De ppm	$\text{mg}/\text{Nm}^3$
1 ppm de $\text{NO}_2$	1.88 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
1 ppm de NO	1.34 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
1 ppm de $\text{SO}_2$	2.62 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
1 ppm de CO	1.15 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
1 ppm de COV metánicos	0.65 $\text{mg}/\text{Nm}^3$
1 ppm de COV no metánicos	Peso Molecular del gas de calibración/24.45
	C/12
COT	C = (COV metánicos) * 1 C = (COV no metánicos) * N° de C de calibración

#### a) EMISIÓN POR HORA

Una vez obtenido la concentración en  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  y con el dato del caudal en base seca, normalizado a 25°C y una atmósfera de presión, se aplica la ecuación 63.


$$Emission (kg/h) = \frac{concentracion(mg/m^3N) * caudal(m^3N/h)}{1000000} \quad \text{Ecuación 63}$$

#### b) EMISIÓN DIARIA

Se calcula considerando la operación continua, durante 24 horas de funcionamiento con la siguiente formula:


$$Emission\ diaria\ (kg/dia) = \sum_{hora=1}^{hora=24} Emission\ horaria\ (kg/h) \quad \text{Ecuación 64}$$

#### c) EMISIÓN ANUAL

Se calcula considerando la operación continua, durante 8760 horas correspondiente a un año, con la siguiente formula:

$$Emission\ anual\ (Ton/año) = \sum_{hora=1}^{hora=8760} Emission\ horaria\ (kg/h)/1000 \quad \text{Ecuación 65}$$



## 14. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

**ACCIÓN CORRECTIVA:** Son las actividades que son planeadas y ejecutadas, con el fin de corregir una desviación o no conformidad detectada.

**ACCIÓN PREVENTIVA:** Son las actividades que son planeadas y ejecutadas, para eliminar la causa de una desviación o no conformidad potencial u otra situación potencialmente indeseable y evitar su ocurrencia y recurrencia.

**ACREDITACIÓN:** Conformidad que manifiesta la demostración formal de la competencia de una entidad para llevar a cabo tareas específicas de evaluación de la conformidad.

**ANALIZADOR DE GASES:** Equipo integrante del CEMS que mide específicamente y cuantitativamente la concentración de sustancias provenientes de una chimenea, dando valores continuos a tiempo real, de la concentración de gases de una fuente de emisión.

**ANALIZADOR DE GAS DILUENTE:** Es componente del CEMS que mide el gas diluyente ( $O_2$  o  $CO_2$ ) en la corriente de gases de una fuente y, genera una salida proporcional a la concentración del diluyente.

**AREA CENTROIDAL:** 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.

**ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QA):** Conlleva a la realización de una secuencia de fases constituidas por procedimientos que evalúan y garantiza el cumplimiento de los sistemas implementados de Control de Calidad (QC).

**ATENUADORES:** Dispositivos como filtros de vidrio o malla que reducen la transmisión de luz.

**AUDITORÍA:** Proceso sistemático, independiente y documentado destinado a obtener pruebas y evaluarlas de forma objetiva, con el fin de determinar la medida en que se satisfacen unos criterios previamente establecidos.

**AUDITORÍA DE CORRELACIÓN ABSOLUTA (ACA):** Evaluación de la contrastación de la respuesta del CEMS-MP, a una serie de estándares de referencia que cubre la totalidad del rango de medición del instrumento, en los tres niveles de la curva de correlación (puntos de auditoría).

**AUDITORÍA DE VOLUMEN DE MUESTRA (AVM):** Evalúa simultáneamente, la precisión del volumen medido sin diluir reportado por el CEMS-MP, del sistema de medición de la muestra, con la medición de los gases extraídos con dispositivo calibrado.

**AUDITORÍA DE CORRELACIÓN DE RESPUESTA (ACR):** Evaluación simultánea de respuestas (en tres niveles de concentración o en el máximo rango de concentración de MP) de una serie de ensayos del CEMS-MP, con relación a los del Método de Referencia para asegurar la validez de la correlación del CEMS-MP.

**AUDITORÍA DE RESPUESTA RELATIVA (ARR):** Evaluación de una serie de ensayos que se realiza entre la Auditoría de Correlación de Respuesta (ACR), para asegurar la validez de la correlación del CEMS-MP.

**CALIBRACIÓN:** Conjunto de operaciones que establece en condiciones especificadas la relación entre los valores por un sistema completo de medida y, el valor obtenido por un Método de Referencia patrón, para demostrar que los equipos y el sistema en conjunto, cumplen con los requerimientos de precisión necesarios.

**CAUDAL MÁSIICO:** Masa por unidad de tiempo de una sustancia o elemento emitido por la fuente de emisiones.

**CHEQUEO DE MARGEN DE ERROR:** Chequeo de la diferencia entre las lecturas de salida del CEMS-MP y el valor de referencia, establecido en 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.

**CHEQUEO DE MARGEN DE ERROR EN CERO (EC):** Verificación de la diferencia entre la lectura de salida del CEMS-MP y el valor de chequeo en cero.

**CHEQUEO DE MARGEN DE ERROR EN ESCALA SUPERIOR (ES):** Verificación de la diferencia entre la lectura de salida del CEMS-MP y el valor de chequeo de escala superior.

**CHEQUEO DE VOLUMEN DE MUESTRA:** 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.

**COEFICIENTE DE CORRELACIÓN:** Es un indicador para el control de calidad, usado en los Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones de material particulado (CEMS-MP), para asegurar que los CEMS son instalados y operados adecuadamente para generar datos dentro de los límites de aceptación establecidos. Proporciona una medida cuantitativa entre las salidas del CEMS-MP y el Método de Referencia.





**CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTE:** Relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia sólida (partículas), líquida o gaseosa y la unidad de volumen del aire en la cual está contenida.

**CONDICIONES NORMALES:** Son las condiciones de los datos referidos a los valores de temperatura a 25°C (298.15 K) y presión 1 atm (101.3 kPa).

**CONTAMINANTE DEL AIRE:** Sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración puede representar un riesgo para salud y bienestar de las personas, animales y medio ambiente.

**CONTRASTAR:** Comparación para verificar si las lecturas de un equipo con respecto a otro, son las mismas en un rango preestablecido.

**CONTROL DE CALIDAD (QC):** Refiere a las actividades que se realizan obligatoriamente para obtener datos con representatividad, exactitud y en cantidad suficiente de datos válidos.

**CORRELACIÓN:** Modelos de ecuaciones que establecen una relación matemática principal, para correlacionar la salida del CEMS-MP con una concentración de material particulado, según lo determinado por el Método de Referencia. Los modelos de correlación son cinco; Lineal, Polinomial, Logarítmico, Exponencial y Potencial. La correlación se expresa en las unidades de medida que son consistentes con las condiciones de medición del CEMS-MP.

**CORRELACIÓN DEL CEMS-MP:** Relación específica (ecuación de regresión) entre la respuesta del CEMS-MP y la concentración del material 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. Se debe proceder a esta relación a partir de los datos de respuesta del CEMS-MP (analizador) y datos del Método de Referencia que se registraron en las corridas simultáneamente. Los datos de la fuente y el dispositivo de control deben ser representativos y debe verificarse que se encuentren dentro de los rangos o límites de aceptación establecidos.

**CORRELACIÓN EXPONENCIAL:** Ecuación exponencial usada para definir la relación, entre la salida del CEMS-MP y la concentración de material particulado del Método de Referencia.

**CORRELACIÓN LINEAL:** Relación matemática de primer grado entre la salida del CEMS-MP y la concentración de material particulado del Método de Referencia.

**CORRELACIÓN LOGARÍTMICA:** 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.

**CORRELACIÓN POLINOMIAL:** 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.

**CORRELACIÓN POTENCIAL:** Ecuación de potencia usada para definir una relación o función, entre la salida del CEMS-MP y la concentración del Método de Referencia.

**DESVIACIÓN DE CALIBRACIÓN (DC):** Diferencia entre la lectura de salida del CEMSG y un valor de referencia, después de un período de operación, durante el cual no se ha realizado mantenimiento no programado, reparación o ajustes.

**ENSAYO DE LINEALIDAD:** Comprueba la linealidad de la respuesta del analizador respecto a concentraciones conocidas del parámetro que se quiere determinar.

**EMISIONES:** Descarga continua o discontinua a la atmósfera de sustancias o elementos al aire en estado sólido, líquido o gaseoso, o alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

**EQUIPOS AUXILIAR(ES):** Parte componente del CEMS que realiza el monitoreo de la temperatura, presión, entre otros parámetros.

**ERROR DE CALIBRACIÓN:** Diferencia entre la concentración indicada por el CEMS y una concentración o valor de referencia.

**ESCALA DE MEDICIÓN:** Corresponde al o los rangos de medición propios del analizador o monitor.

**ESTÁNDAR DE CALIBRACIÓN:** Sustancia o elemento de concentración conocida que se incorpora al CEMS para calibrar, y obtener la respuesta del analizador.

**ESTÁNDAR DE REFERENCIA:** Sustancia o elemento de referencia que produce una respuesta conocida o no cambiante, al ser incorporado a la parte de monitoreo de emisiones del CEMS. Solo se usa estos estándares, para evaluar la operación general del CEMS-MP, pero no para desarrollar una correlación del CEMS-MP.

**EXACTITUD RELATIVA:** Diferencia media absoluta entre la concentración de la sustancia o elemento determinada por el CEMSG 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 del límite máximo permisible que aplique.

**FUENTE DE BAJAS EMISIONES:** Fuente que opera a no más del 50 por ciento del límite de emisiones, durante el ensayo de funcionamiento más reciente y basándose en la correlación del CEMS-MP, de forma que sus emisiones diarias promedio, medidas en las unidades del límite de emisiones aplicables, no han excedido el 50 por ciento del límite máximo permisible para cualquier día desde el ensayo de funcionamiento más reciente.





**FUENTE DE EMISIÓN:** Elemento o dispositivo a través del cual tiene lugar una descarga a la atmósfera de sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, en forma continua o discontinua.

**FUENTE ESTACIONARIA O FIJA:** Fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, circunscrita a una área delimitada o definida. Una fuente fija puntual de descarga (ducto o chimenea), es implementada en las operaciones o procesos industriales y energéticos, para la descarga de emisiones a la atmósfera.

**GAS EPA PROTOCOLO:** Mezcla de gas de calibración preparada y analizada de acuerdo a la sección 2 del "EPA Traceability Protocol for Assay and Certification Standard". Setiembre de 1997.

**HOMOLOGADO:** Certificado oficial de homologación, emitido por algún organismo reconocido, donde se haga referencia al cumplimiento de los requisitos establecidos.

**INTERFAZ DE MUESTREO:** Parte del CEMS utilizada para las actividades de adquisición, envío y acondicionamiento de muestras; o protección del monitoreo de los efectos del efluente de la chimenea.

**INTERVALO DE TOLERANCIA:** Intervalo dentro del cual necesariamente debe estar un porcentaje especificado de la concentración, con un nivel de confianza dado.

**MANUAL DE CALIDAD:** Documento que describe el sistema de gestión de la calidad de acuerdo con la política y los objetivos de calidad establecidos.

**MANUAL DE INSTRUCCIONES OPERATIVAS:** Conjunto de Instrucciones que se ejecutan de manera secuencial para operar los equipos principales y complementarios.

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS:** Conjunto de instrucciones secuenciales y ordenadas que se ejecutan para desarrollar los análisis de las sustancias y elementos existentes en las emisiones, que es realizada por una persona o grupo de trabajo capacitada para tal fin.

**MÉTODO DE REFERENCIA:** Método de medición tomado como método de aplicación recomendado para determinar un parámetro de emisión. El valor obtenido se considera la medida objetiva del parámetro a determinar y que se debe utilizar en primera instancia.

**MONITOR DE FLUJO:** Instrumento del CEMS, que mide el flujo volumétrico de las emisiones.

**MUESTREO POR LOTES:** Muestreo de las emisiones, de manera intermitente y concentrada en un medio colector, antes de los análisis, originando reportes intermitentes (ejemplo: muestreo de MP por metodología de atenuación beta).

**PARÁMETROS OPERATIVOS:** Son los parámetros de flujo, presión, temperatura, humedad, entre otros, a la cual opera la fuente.

**PERÍODO DE DATOS PERDIDOS:** Número total de horas consecutivas, durante las cuales el CEMS no proporciona datos de calidad.

**PERÍODO FUERA DE CONTROL:** Período de tiempo en el cual el CEMS es incapaz de generar datos válidos, por falla del sistema.

**PRECISIÓN DEL CEMS:** Cercanía de los resultados de las mediciones con otros resultados, medidos exactamente a las mismas condiciones de operación y de concentración. El sistema debe reportar y registrar la consistencia, repetibilidad y reproducibilidad de los resultados, logrando tener cada vez mayor precisión.

**PRECISIÓN DEL MONITOR:** Proximidad de los resultados de las mediciones efectuadas por un CEMS, a los valores obtenidos por el Método de Referencia de las emisiones o flujo volumétrico medido y expresado como la diferencia entre la medición y el valor de referencia.

**PROTOCOLO DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES:** Documento que establece los objetivos, estandariza los procedimientos, los métodos y criterios de validación, auditorías, manejo, transmisión y reporte de la data, de aplicación en los Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS).

**RANGO DE MEDICIÓN:** 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, que se aplica en el procedimiento de ensayo de la Exactitud relativa.

**RANGO DE MEDICIÓN APROPIADO DEL CEMS-MP:** Rango de medición que registra las lecturas en el rango completo de concentraciones de emisión de la fuente, durante las operaciones de rutina y es determinado previos a los ensayos.

**RANGO MEDIO DE INTERVALO DE CONFIANZA (CI):** Término estadístico del Rango Medio del Intervalo de Confianza del 95%, para estimar el valor promedio de la concentración del material particulado.

**RANGO MEDIO DE INTERVALO DE TOLERANCIA (TI):** Término estadístico para estimar el valor promedio de la concentración del material particulado, durante la evaluación de la correlación lineal.

**REGISTRADOR DE DATOS (DATALOGGER):** Parte componente del CEMS que proporciona un registro permanente de datos de los monitores y analizadores, en términos de respuesta y estado. El registrador de datos puede también tener capacidad de manejo de datos y control del CEMS.

**REVALIDACIÓN:** Establece la realización de todos los ensayos similar a la validación inicial, en los casos que señala el presente protocolo.





**SERIES PAREADAS:** Dos series del Método de Referencia que se usan para realizar mediciones simultáneas de concentraciones de material particulado.

**SISTEMA DE ADQUISICIÓN, TRATAMIENTO Y COMUNICACIÓN (SATC):** Parte integrante del CEMS que recolecta los datos del analizador y realiza los cálculos básicos. Tiene como componentes computadora, monitores, analizadores, impresora, software y el sistema de transmisión.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES (CEMS):** Conjunto de instrumentos de medición y dispositivos complementarios, para obtener de forma automática y continua, la concentración de parámetros físicos y químicos de las emisiones de una operación o proceso, obteniéndose respuestas en tiempo real. Consta de analizadores y componentes necesarios para cuantificar la emisión durante la toma y acondicionamiento de la muestra, instrumentación de ensayo y chequeos requeridos para la verificación periódica de su funcionamiento.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES DE GASES (CEMSG):** Equipamiento y sus elementos complementarios, requeridos para la determinación de la concentración continua de una sustancia o elemento de las emisiones gaseosas.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (CEMS-MP):** Equipamiento y sus elementos complementarios, requeridos para la determinación de la concentración continua de partículas.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIÓN CON EXTRACCIÓN Y DILUCIÓN:** CEMS que extrae y diluye una proporción de la corriente de gas con aire seco y limpio antes del análisis.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIÓN CON SISTEMA INTEGRADO:** Este CEMS cuenta con el instrumento transmisor y el receptor en la misma celda de medición, montada directamente en la chimenea, dentro de la cual se realizará directamente el análisis. Durante la medición no modifica la muestra.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIÓN EXTRACTIVO:** CEMS que remueve una porción de las emisiones de la chimenea para el análisis, para luego ser bombeada mediante un sistema de conducción a una unidad de análisis o analizador. Puede usar extracción fría con condensación, extracción en caliente y con sistemas de dilución.

**SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIÓN IN SITU:** CEMS que analiza la corriente de gases en la misma chimenea. Esta técnica analiza la muestra con base en sus propiedades físicas, opera con un transmisor en un lado de la chimenea y un receptor del otro lado de la chimenea.

**TEST DE AUDITORÍA DE LA EXACTITUD RELATIVA (en inglés RATA):** Auditoría del CEMSG, que compara la salida del CEMSG con los ensayos de los Métodos de Referencia.

**TIEMPO DE CICLO:** Tiempo requerido para completar un ciclo de muestreo, medición y reporte. En un CEMS-MP de muestreo por lotes, el tiempo de ciclo empieza 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 en el registrador de datos.

**TIEMPO DE RESPUESTA:** Intervalo de tiempo comprendido entre el momento en que la concentración de la emisión sufre un cambio brusco en la entrada del sistema y el momento en que la señal de salida del analizador llega al 95% del valor final esperado, en régimen estable.

**UBICACIÓN DE MUESTREO DEL MÉTODO DE REFERENCIA PARA MATERIAL PARTICULADO:** Ubicación en la que se recolecta la muestra, utilizando el Método de Referencia para desarrollar la correlación del CEMS-MP y ejecutar las auditorías que le corresponde.

**VALIDACIÓN:** Evidencia documental generada a través de la recopilación y evaluación de los datos obtenidos y de las pruebas específicas realizadas, basadas en conocimiento del proceso, sistema o método, para demostrar la funcionalidad del sistema y la consistencia de sus datos emitidos.

**VALIDACIÓN DE DATOS:** Proceso que consta de dos fases, en la primera se determina y evalúa la calidad de un conjunto de datos de emisión, considerando la consistencia temporal, de orden, magnitud, etc., de los mismos, determinando valores erróneos para descartarlo y; en la segunda fase, cada dato válido es procesado considerando la incertidumbre expandida para lograr el dato validado.

**VALOR CALIBRADO DEL CEMS:** Dato que se obtiene del CEMS después de la aplicación de la función de calibración.

**VALOR CRUDO (DATO CRUDO):** Información con resolución de un minuto, obtenida directamente de los equipos de monitoreo, sin filtro alguno, que sirve como base para elaborar los promedios validados de mayor período.

**VALOR DE CORRELACIÓN EN PUNTO CERO:** Valor agregado a los datos de la correlación del CEMS-MP, para proveer datos de concentración de material particulado bajos o próximos a cero.

**VALOR DE REFERENCIA O SEÑAL DE REFERENCIA:** 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 aceptado por la autoridad competente, en el caso esta adopte el presente protocolo; asumido como el valor real del contaminante o la concentración del diluyente o el flujo volumétrico que está siendo medido.

**VALOR DE SPAN:** Límite superior del rango de medición de la concentración de la sustancia o elemento que constituye la emisión.

