

**Proyecto de directrices sobre las
mejores técnicas disponibles y
las mejores prácticas
ambientales**

Monitorización

Monitorización de las emisiones de mercurio

Introducción

La monitorización de las emisiones es un componente principal en cuanto a posibilitar a una Parte evaluar el rendimiento de las medidas que ha aplicado. En consecuencia, en este capítulo se describen técnicas generales de monitorización de las emisiones que una Parte puede tener en cuenta. Además, las técnicas de monitorización de las emisiones específicas para las categorías de fuentes puntuales enumeradas en el anexo D se tratan en los capítulos pertinentes de las presentes directrices. En el artículo 8 no se incluyen obligaciones específicas sobre la monitorización de las emisiones. No obstante, en su párrafo 6, el artículo establece que con el transcurso del tiempo las medidas aplicadas por una Parte deberían permitir lograr progresos razonables en la reducción de las emisiones. Además, en el párrafo 11 se dispone que cada Parte deba incluir información (en virtud del artículo 21) sobre la eficacia de las medidas que haya adoptado para controlar, y, cuando sea viable, disminuir las emisiones de mercurio y los compuestos de mercurio provenientes de las fuentes puntuales incluidas en las categorías de fuentes enumeradas en el anexo D.

La preparación de las directrices ha aprovechado la experiencia pertinente en los planos nacional y regional. Se ha hecho referencia a parte de esa experiencia a los efectos de información. Las referencias a esa información no van en detrimento alguno de la autonomía de la Conferencia de las Partes ni de la autonomía de ninguna de las Partes, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 8. Toda referencia a los costos se basa en la información conocida en el momento de la preparación del documento sobre las directrices. Obsérvese que cabe esperar cambios en los costos en el transcurso del tiempo

2. Sinopsis

La monitorización de las emisiones de mercurio constituye una parte esencial de la implementación general de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales para controlar las emisiones de mercurio al medio ambiente y para mantener una alta eficiencia funcional de las técnicas de reducción empleadas. La monitorización de las emisiones de mercurio se debe realizar según las mejores prácticas generales mediante el empleo de métodos aprobados o aceptados. Para evaluar y asegurar la eficacia de las técnicas de control de las emisiones de mercurio empleadas en una instalación es necesario contar con datos representativos, fiables y oportunos obtenidos a partir de la monitorización de las emisiones de mercurio.

Todas las fuentes pertinentes de emisiones de mercurio deben poner en práctica la monitorización de las emisiones de mercurio. Si bien en la presente introducción se enumeran las técnicas, cada fuente pertinente puede tener técnicas y prácticas de monitorización aplicables con carácter específico, a las que se hace referencia en cada uno de los capítulos de las presentes directrices.

2.1 Etapas generales en la realización de la monitorización de las emisiones de mercurio

La primera etapa en la realización de la monitorización de las emisiones de mercurio consiste en establecer un parámetro de eficacia, ya sea tomando directamente mediciones de las concentraciones de mercurio en las corrientes de gas o empleando mediciones indirectas para estimar las emisiones de la instalación. Después, se realizan más mediciones a intervalos específicos (por ejemplo, diarios, semanales, mensuales) para caracterizar las concentraciones de mercurio en el gas o las emisiones de mercurio en ese momento dado. Entonces la monitorización se lleva a cabo compilando y analizando los datos resultantes de las mediciones de las emisiones para observar tendencias en las emisiones y la eficacia funcional. Si los datos de las mediciones indican cualesquiera cuestiones que susciten preocupación, como el aumento de las concentraciones de mercurio en el transcurso del tiempo, o valores máximos de emisiones de mercurio vinculados a determinadas operaciones funcionales de la planta, la instalación debe adoptar rápidamente medidas para rectificar la situación.

2.2 Consideraciones al seleccionar un enfoque de medición o monitorización

La selección de un enfoque de medición o monitorización debe comenzar por el examen de los resultados deseados. Mediciones periódicas de corta duración, efectuadas durante un período breve, como una hora o un día, pueden realizarse para proporcionar una rápida retroinformación para optimizar el proceso. Mediciones de larga duración, como cada varios meses o anuales, empleando de manera semicontinua equipo instalado permanentemente, pueden ser convenientes para presentar informes de inventario sobre las emisiones. La monitorización continua de las emisiones que actualmente se lleva a cabo en algunos países se puede emplear para controlar el proceso si las emisiones de mercurio son muy variables debido, por ejemplo, a cambios rápidos en los contenidos de mercurio en las materias analizadas.

Además, a la hora de seleccionar los métodos de monitorización y planificación más apropiados para la campaña de muestreo, es menester tener en cuenta las características específicas de los lugares. Según sea el proceso, el mercurio puede estar presente como mercurio unido a partículas, mercurio elemental gaseoso (Hg^0) o en las formas gaseosas ionizadas Hg(I) o Hg(II) , o en combinaciones de esas formas. La división puede incluso variar apreciablemente entre las instalaciones que llevan a cabo procesos similares. En el caso de algunos procesos, puede resultar útil medir individualmente esas diferentes especies de mercurio, por ejemplo, para fundamentar decisiones sobre tecnologías de control eficaces o para realizar evaluaciones sobre los riesgos.

El punto de muestreo debe ser fácilmente accesible, cumplir las normas ocupacionales de salud y seguridad, cumplir los requisitos reglamentarios, y hacer posible la recuperación de muestras representativas. Idealmente, se deben emplear los mismos puntos de muestreo para campañas de medición posteriores a fin de proporcionar comparabilidad entre los resultados. Para prevenir la disolución de las muestras y evitar falsos resultados bajos, el aire ambiente no debe infiltrarse en los puntos de muestreo. Preferiblemente, el perfil de velocidad del flujo de gas debe tenerse en cuenta a la hora de determinar la ubicación de la muestra a fin de evitar áreas de perturbación del flujo, lo cual afectaría la representatividad de la muestra. En la directriz europea EN

15259:2007¹ “Air Quality-Measurement of stationary source emissions – Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report” figura información detallada sobre el diseño y la instalación de puntos de medición. La directriz es aplicable a mediciones continuas o discontinuas.

Para proporcionar datos representativos, el cronometraje, la duración y la frecuencia de la muestra se deben determinar teniendo en cuenta diversos parámetros, entre los que figuran el método de medición y monitorización empleado, la ubicación de la medición, las condiciones de funcionamiento de la instalación, las variaciones del proceso específicas de cada lugar, y los requisitos para demostrar el cumplimiento del proceso reglamentario aplicable. Las muestras deben tomarse en condiciones representativas de las operaciones normales de la instalación. Si las emisiones son muy variables, o si provienen de un proceso en tandas, el muestreo debe ser más prolongado o se deben coleccionar más muestras (por ejemplo, tomar muestras durante toda la tanda) a fin de proporcionar una medición media fiable. Además, posiblemente las concentraciones bajas de mercurio en la corriente de muestra hagan necesario prolongar la duración a fin de proporcionar una masa de muestra total superior al límite de detección del método. Asimismo, muestras compuestas periódicas –por ejemplo, más de media hora, 12 horas o 24 horas– proporcionan más resultados representativos en comparación con muestras tomadas aleatoriamente.

Las emisiones de mercurio pueden variar apreciablemente en la misma instalación en el transcurso del tiempo o entre instalaciones que llevan a cabo procesos similares, debido a variaciones en el contenido de mercurio en los materiales incluidos en el proceso. Las concentraciones de mercurio pueden cambiar rápidamente en los combustibles, las materias primas y otros insumos, como los desechos. Durante el procedimiento de medición de las emisiones, el contenido de mercurio en los insumos del proceso también se debe documentar para contribuir a la seguridad de la calidad. Cuando se lleva a cabo el muestreo, se debe cuidar en la mayor medida posible de asegurar que el proceso funcione en condiciones representativas, que las concentraciones de mercurio en las corrientes de insumos sean representativas de materias primas normales, y que las emisiones fugitivas se reduzcan al mínimo. Si las condiciones de funcionamiento no son típicas, la extrapolación de los datos de muestreo podría proporcionar resultados con un gran margen de error.

Las condiciones de funcionamiento se deben documentar durante toda la campaña de muestreo. Parámetros específicos, como la tasa volumétrica de flujo de gas, la temperatura del gas, el contenido de vapor de agua del gas, la presión estática del conducto de gas, y la presión atmosférica², se deben registrar con precisión para posibilitar la conversión de las concentraciones de mercurio medidas a condiciones de referencia estándar (0°C, 1 atm, medido o contenido de oxígeno de referencia y basado en gas seco). La cantidad de mercurio emitido en el transcurso del tiempo se puede determinar multiplicando la concentración de mercurio en el gas de escape por la tasa de flujo volumétrico del gas de chimenea, de la manera siguiente:

Por ejemplo:

$$E_{\text{Hg}} = C_{\text{Hg}} \times F \times T$$

Donde:

E_{Hg} = Emisiones anuales de mercurio (kg/año)

C_{Hg} = Concentración de mercurio en el flujo de gas (kg/m³)

F = tasa de flujo volumétrico del flujo de gas (m³/h)

T = tiempo de funcionamiento por año (h/año)

La mayoría de los métodos de monitorización directa de las emisiones se basan en el muestreo en una fuente puntual, como una chimenea. Normalmente no se practica la medición de emisiones difusas, incluidas las emisiones fugitivas, y las metodologías que existen para medir emisiones difusas generalmente producen resultados que presentan una marcada ambigüedad. En consecuencia, cabe señalar la posibilidad de que los resultados de la monitorización de las emisiones provenientes de fuentes puntuales no proporcionen datos completos sobre las emisiones de mercurio total de una instalación.

La selección del método de monitorización se debe basar en diversos criterios, como las características del lugar, los factores específicos del proceso, la certidumbre de la medición, las consideraciones relativas a los

¹ Comité Europeo de Normalización, “EN 15259:2007: Air quality – Measurement of stationary source emissions – Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report”, 18 August 2007.
http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT:22623&cs=106F3444821A456A90F21590F3BFF8582

² EU IPPCB, NFM BREF Draft, February 2013, p. 67.

costos, y los requisitos reglamentarios y de mantenimiento. Para comparar las emisiones de mercurio de la instalación en el transcurso del tiempo, se deben emplear métodos de muestreo uniformes durante los años subsiguientes.

2.3 Métodos de medición directa

Generalmente se considera que los métodos de medición directa constituyen las técnicas más fiables para la monitorización de las emisiones de mercurio. Cuando se aplican correctamente, esos métodos pueden proporcionar datos representativos y fiables que propician una mayor precisión en la medición de las emisiones de mercurio efectivas de una instalación.

1.1.1 Mediciones de corta duración

2.3.1.1 Muestreo por borboteadores

El muestreo por borboteadores de las emisiones de mercurio provenientes de una fuente estacionaria se realiza colectando manualmente una muestra de gas de escape de un punto de salida, como una chimenea o conducto, con un sistema de muestreo isocinético, mediante el cual la corriente de gas de muestra que se extrae tiene la misma velocidad que la corriente principal. El muestreo isocinético explica los cambios de la tasa de flujo y de cierta carga de partículas en el gas. No obstante, este método no es apropiado para gases que presentan mucha carga de partículas.

El método requiere el uso de un complejo tren de muestreo para recuperar el mercurio del flujo de gas en una disolución que entonces se envía al laboratorio para ser analizada. Si bien este método posibilita medir con buena precisión la concentración de mercurio, exige una atención continua durante el período de muestreo. Una ventaja de este método es que posibilita la recuperación tanto del mercurio en forma gaseosa como del mercurio unido a materia particulada. Debido a la complejidad de este procedimiento, los ensayos en la fuente tienden a realizarse solo periódicamente (por ejemplo, una o dos veces al año). En general, las instalaciones contratan a consultores especializados en realizar ensayos en la fuente para que lleven a cabo el muestreo y el análisis.

Se insertan una sonda y una boquilla de muestreo en la corriente de gas del punto de salida para extraer una muestra representativa durante un período determinado. Puesto que el muestreo por borboteadores generalmente se realiza solo algunas veces al año cuando más, el muestreo debe efectuarse cuando el proceso esté funcionando en un estado continuo de manera que posibilite la extrapolación de los datos durante un año de funcionamiento. Las condiciones de funcionamiento deben documentarse antes y después de la campaña de muestreo, y mientras se esté realizando. En los Estados Unidos, la práctica general es tomar tres muestras mediante borboteadores, cada una de varias horas de duración bajo condiciones de funcionamiento típicas, y calcular la media de los resultados para hallar el valor de concentración final. La preparación cuidadosa del borboteador y la manipulación posterior de las soluciones son fundamentales para que los métodos por borboteadores tengan resultados satisfactorios. Frecuentemente los errores de medición están relacionados con la pérdida de mercurio de las soluciones. Por consiguiente, es imprescindible evitar toda pérdida de la muestra por cuanto ello causará que los resultados de la prueba sean falsamente bajos.

Debido a que este no es un método de monitorización continua de las emisiones, los resultados obtenidos no proporcionarían datos sobre las emisiones de mercurio durante eventos irregulares, como amplias fluctuaciones de la producción, la puesta en marcha del proceso, el cese de las actividades o perturbaciones. Cabe señalar que las emisiones de mercurio generadas durante esos eventos pueden ser apreciablemente mayores o menores que durante el funcionamiento en condiciones normales.

No obstante, incluso bajo condiciones de estado continuo, puede producirse una variabilidad importante en los volúmenes de mercurio que se emiten cuando el contenido de mercurio en combustibles o materias primas fluctúa durante períodos cortos. En particular, en el caso de las instalaciones de incineración de desechos o de producción de cemento que emplean combustibles obtenidos a partir de desechos, el contenido de mercurio que entra en el sistema o la instalación puede ser impredecible. Similarmente, en el sector de los metales no ferrosos, el mercurio en los insumos de los hornos puede cambiar rápidamente según los concentrados que se estén procesando. En esos casos, es posible que los resultados del muestreo intermitente por borboteadores no proporcionen datos representativos cuando se extrapolen por un período prolongado (por ejemplo, promedios anuales). En consecuencia, aumentar la frecuencia del muestreo (por ejemplo, a tres mediciones al año durante muchos años) en el transcurso del tiempo puede proporcionar una mejor comprensión de las emisiones efectivas de las fuentes.

Para obtener un valor máximo de las inversiones, los ensayos en las fuentes de las emisiones de mercurio se deben llevar a cabo durante campañas de muestreo más amplias para los contaminantes atmosféricos, como la

materia particulada, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre y los compuestos orgánicos volátiles. La adición de las pruebas para detectar mercurio cuando se realizan estas campañas de muestreo de contaminantes atmosféricos más amplias puede aumentar los costos operacionales de una instalación. Los costos efectivos dependerán de diversos factores, como el método de muestreo, la frecuencia de muestreo, los servicios de apoyo, los métodos analíticos y la preparación de los lugares.

Métodos de referencia existentes:

- *Method EN 13211:2001/AC: 2005 – Air quality – Stationary source emissions – Manual method of determination of the concentration of total mercury*³

Este es el método de referencia en Europa para la medición del mercurio total. El método se aplica al rango de concentración de mercurio total entre 0,001 y 0,5 mg/m³ en gases de escape. El procedimiento consiste en un método manual para determinar la concentración de mercurio total empleando una solución acuosa ácida de permanganato de potasio o dicromato de potasio para el muestreo del mercurio en fase de vapor, conjuntamente con un papel filtro para la colección de mercurio unido a partículas. El tiempo de muestreo debe fluctuar entre 30 minutos y dos horas.

US EPA Method 29 – Metals Emissions from Stationary Sources⁴

En este método, las emisiones particuladas se colectan de manera isocinética en la sonda y en un filtro calentado, y después las emisiones gaseosas se colectan en una solución ácida acuosa de peróxido de hidrógeno (que se analiza para buscar todos los metales, incluido el mercurio) y una solución ácida acuosa de permanganato de potasio (analizada para buscar mercurio únicamente). Las muestras recuperadas se digieren y se analizan fracciones apropiadas para buscar mercurio mediante espectroscopía por absorción atómica de vapor frío (también conocida por CVAAS) así como una variedad de otros metales mediante espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (también conocido por ICP-MS). Este método sirve para medir las concentraciones de mercurio que fluctúan entre aproximadamente 0,2 y 100 µg/m³. Debido a que este método colecta mercurio oxidado en la solución de peróxido de hidrógeno, es adecuado para determinar la especiación del mercurio.

US EPA SW-846 Method 0060 – Determination of Metals in Stack Emissions⁵

Este método se emplea para determinar la concentración de metales en las emisiones de gases de chimenea provenientes de incineradores de desechos peligrosos y procesos de combustión similares. En este método se extrae una muestra del flujo de gas de combustión isocinéticamente mediante un sistema de sonda y filtro. Las emisiones particuladas se colectan en la sonda y en un filtro calentado, y las emisiones gaseosas se colectan en una serie de borboteadores enfriados. Dos borboteadores permanecen vacíos, dos borboteadores contienen una solución acuosa de ácido nítrico diluido combinado con peróxido de hidrógeno diluido, otros dos borboteadores contienen solución ácida de permanganato de potasio, y el último borboteador contiene un desecante.

Las muestras recuperadas se digieren, y fracciones apropiadas se analizan para buscar mercurio mediante CVAAS. Las fracciones remanentes se pueden analizar para buscar otros metales mediante espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), espectrometría de absorción atómica con llama (FLAA), o espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

Method ASTM D6784- 02 (Reapproved 2008) – Standard Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-fired Stationary Sources (Ontario Hydro Method)⁶

En este método se extrae una muestra del flujo de gas de combustión isocinéticamente mediante un sistema de sonda y filtro, mantenido a 120°C o a la temperatura de los gases de combustión (según cual sea la más elevada), seguido de una serie de borboteadores en un baño helado. El mercurio unido a partículas se conecta en

³ Comité Europeo de Normalización, “*EN 13211:2001/AC:2005: Air quality – Stationary source emissions – Manual method of determination of the concentration of total mercury*”, 15 de febrero de 2005. http://standards.cen.eu/dyn/www/?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:25042,6245&cs=19B884B499893080A731C45504F6F2FB2.

⁴ US EPA, “*Method 29 – Metals Emissions from Stationary Sources*”. <http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method29.html>.

⁵ US EPA, “*Method 0060 – Determination of Metals from Stack Emissions*”. <http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/0060.pdf>.

⁶ American Society for Testing and Materials (ASTM), “*Standard Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-Fired Stationary Sources (Ontario Hydro Method)*”, 2008. <http://www.astm.org/Standards/D6784.htm>.

la mitad frontal del tren de muestreo. El mercurio oxidado se colecta en borboteadores que contienen una solución acuosa enfriada de cloruro de potasio.

El mercurio elemental se capta consecutivamente en borboteadores (uno de los cuales contiene una solución ácida acuosa enfriada de peróxido de hidrógeno y tres borboteadores contienen soluciones acuosas enfriadas de permanganato de potasio). Las muestras se recuperan, digieren y después se analizan para buscar mercurio empleando CVAAS o espectroscopia de fluorescencia atómica con vapor de agua frío (CVAFS). El alcance del método se aplica a la determinación de emisiones de mercurio elemental, oxidado, unido a partículas y total provenientes de fuentes estacionarias alimentadas mediante carbón con concentraciones que fluctúan entre aproximadamente 0,2 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- *JIS K0222 (Article 4(1) – Methods for determination of mercury in stack gas (wet absorption and cold vapour atomic absorption method)*⁷

Este método de referencia del Japón mide el mercurio total en fase de vapor en el gas de muestra. En este método, el mercurio en fase de vapor se capta en una solución ácida acuosa de permanganato de potasio (muestreo isocinético no limitante). El polvo que contiene el mercurio unido a partículas en el gas de chimenea se capta isocinéticamente sobre el filtro de conformidad con el método de referencia JIS Z8808:2013⁸ “Methods of measuring dust concentration in flue gas.” Las muestras recuperadas se digieren, y se analizan fracciones apropiadas para buscar mercurio mediante espectrometría de absorción atómica con vapor de agua frío.

2.3.1.2 Muestreo de trampa con sorbente

Las trampas con sorbente proporcionan una medición de la concentración media de mercurio durante un período de muestreo, similar a los métodos con borboteadores. Además, las trampas con sorbente proporcionan una retención de mercurio más estable y un protocolo de muestreo más sencillo, lo cual posibilita no tener que prestar atención a la operación de muestreo durante períodos prolongados.

Las trampas con sorbente se emplean para medir las emisiones de mercurio provenientes de fuentes puntuales que presentan bajas concentraciones de materia particulada. En general, las muestras se toman en una ubicación después de un dispositivo de control de partículas.

Normalmente, se extraen muestras duplicadas en paralelo mediante sondas insertadas en la corriente de gas. Las sondas contienen trampas con sorbente, que acumulan el mercurio proveniente del gas. El material sorbente que se emplea principalmente es carbón halogenado. La finalidad de las trampas con sorbente es medir el mercurio gaseoso, pero debido al funcionamiento del método de muestreo, las trampas con sorbente pueden atraer las partículas que contienen mercurio. Estas partículas se analizan y la cantidad media se añade a las cantidades del lecho de carbón para formar el valor del mercurio total. No obstante, el método de trampa con sorbente no capta partículas isocinéticamente, y por ello no es un método preciso para medir el mercurio unido a partículas. Sin embargo, debido a que cabría esperar que las instalaciones en cuestión emplearan dispositivos de control de materia particulada eficientes, en la corriente de gas habría cantidades mínimas de mercurio unido a partículas.

Al concluir el período de muestreo, las trampas con sorbente se reemplazan manualmente, y las trampas usadas se analizan para buscar el contenido de mercurio. Si los resultados de los análisis del tubo de sorbente concuerdan con un rango especificado, entonces los dos resultados se promedian para obtener el valor final. Entre los métodos analíticos para hallar el contenido de mercurio figuran los métodos químicos húmedos tradicionales o los sistemas pequeños de desabsorción térmica, que pueden proporcionar resultados inmediatos. Una ventaja evidente de este método es que al personal operacional se le puede capacitar rápidamente para realizar el muestreo. Otra ventaja es que los resultados del análisis de desabsorción térmica pueden conocerse mientras que el analista se encuentra aún sobre el terreno. Esto resulta útil para las pruebas de ingeniería que presentan diversas condiciones, o para auditorías de las pruebas de precisión relativa de la monitorización del mercurio.

Las trampas con sorbente proporcionan una buena sensibilidad y precisión para el mercurio en un amplio rango de concentraciones. No obstante, es necesario conocer las concentraciones mínimas y máximas previstas en el gas de combustión de manera que la trampa con sorbente y el tiempo de muestreo se puedan seleccionar correctamente. Por ejemplo, si la concentración es muy alta o el tiempo de muestreo demasiado largo, podría sobrepasarse la capacidad de absorción de mercurio de la trampa con sorbente. Este acontecimiento podría causar un registro inferior al valor real de la concentración de mercurio. Por otra parte, un tiempo corto de

⁷ Japanese Standards Association, “JIS K0222:1997; *Methods for determination of mercury in stack gas*”, 20 August 1997.

⁸ Japanese Standards Association, “JIS Z8808:2013: *Methods of measuring dust concentration in flue gas*”, 20 August 2013.

muestreo de los gases de combustión con concentraciones muy bajas de mercurio puede dar por resultado que en las trampas se capte muy poco mercurio, lo cual afectaría negativamente la precisión del análisis de la trampa.

Métodos de referencia existentes:

- *US EPA Method 30B – Determination of Total Vapor Phase Mercury Emissions from Coal-Fired Combustion Sources Using Carbon Sorbent Traps*⁹

Este método es un procedimiento para medir las emisiones de mercurio total en fase de vapor provenientes de fuentes de combustión alimentadas con carbón empleando el muestreo mediante trampas con sorbente y una técnica analítica extractiva o térmica. Este método está diseñado para emplearse únicamente en condiciones en que la cantidad de materia particulada es relativamente baja (por ejemplo, el muestreo después de utilizar dispositivos de control de la contaminación). El método 30B es un método de referencia para auditorías de las pruebas de precisión relativa (RATA) de los sistemas de monitorización continua de las emisiones de mercurio en fase de vapor y sistemas de monitorización de trampas con sorbente instalados en calderas de carbón, y también es adecuado para la comprobación de las emisiones de mercurio en esa clase de calderas. En los casos en que puedan estar presentes cantidades apreciables de mercurio unido a partículas, se debe emplear un método de muestreo isocinético de mercurio.

- *JIS K0222 (Article 4(2) – Methods for determination of mercury in stack gas (Gold amalgamation and cold vapour atomic absorption method)*¹⁰

Este método de referencia del Japón emplea un sorbente que contiene oro y mide la concentración de mercurio elemental (Hg^0) en fase de vapor presente en el gas de chimenea. Después que el gas muestreado se limpia mediante agua y que el mercurio oxidado (Hg^{2+}) en fase de vapor presente en el gas muestreado se elimina, el mercurio en fase de vapor queda atrapado por el sorbente como amalgama de oro. El sorbente se calienta y el mercurio vaporizado se mide mediante espectrometría de absorción atómica de vapor frío.

2.3.1.3 Pruebas instrumentales

Las pruebas instrumentales pueden emplearse para mediciones de corta duración de las concentraciones de mercurio en fase de vapor presentes en gases. En este método, una muestra de gas se extrae continuamente y se traslada a un analizador móvil que mide el mercurio elemental y oxidado (Hg^0 and Hg^{2+}), ya sea por separado o simultáneamente. El analizador móvil emplea una técnica de medición similar a la utilizada en la monitorización continua de las emisiones (véase la sección 2.4 más adelante).

- *US EPA Method 30A – Determination of Total Vapour Phase Mercury Emissions from Stationary Sources (Instrumental Analyser Procedure)*¹¹

El método 30A es un procedimiento para medir las emisiones de mercurio total en fase de vapor proveniente de fuentes estacionarias empleando un analizador instrumental. Este método es particularmente apropiado para realizar la comprobación de emisiones y para efectuar pruebas RATA de los sistemas de monitorización continua de las emisiones de mercurio y sistemas de monitorización de trampa con sorbente en fuentes de combustión alimentadas con carbón. Se incluyen requisitos de garantía y control de calidad.

2.3.2 Mediciones de larga duración

2.3.2.1 Sistemas de monitorización de trampa con sorbente

Los sistemas de monitorización de trampa con sorbente se emplean para monitorizar las emisiones de mercurio provenientes de fuentes puntuales que presentan bajas concentraciones de materia particulada. Estos sistemas se instalan permanentemente en un punto de muestreo conveniente, y emplean trampas con sorbente para proporcionar muestras representativas uniformes. En contraste con el empleo de trampas con sorbente para mediciones de corta duración durante períodos breves, los sistemas de monitorización de trampas con sorbente funcionan continuamente durante períodos fijos, que pueden fluctuar entre 24 y 168 horas¹², o incluso 14 días para las muestras con concentraciones bajas de mercurio. Al igual que en el caso de otros métodos extractivos, la ubicación del punto de muestreo se debe seleccionar cuidadosamente para proporcionar datos que sean representativos y útiles.

⁹ US EPA Method 30B, <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate/Meth30B.pdf>.

¹⁰ Japanese Standards Association, “JIS K0222; 1997; Methods for determination of mercury in stack gas”, 20 August 1997.

¹¹ US EPA Method 30A, <http://www.epa.gov/ttnemc01/promgate/Meth30A.pdf>.

¹² US EPA Performance Specification 12B, p.13. <http://www.epa.gov/ttn/emc/perfspec.html>.

Según estimaciones, el costo de instalar un sistema de monitorización de trampa con sorbente es de alrededor de 150.000 dólares de los Estados Unidos. Empleando datos de los Estados Unidos correspondientes a 2010, los costos operacionales anuales para el sistema de monitorización de trampa con sorbente para las centrales eléctricas de carbón fluctúan entre 26.000 y 36.000 dólares, y los costos anuales de mano de obra para su funcionamiento fluctúan entre 21.000 y 36.000 dólares¹³.

Métodos de referencia existentes:

- *US EPA PS-12b (Performance Specification 12b) – Specifications and Test Procedures for Monitoring Total Vapour Phase Mercury Emissions from Stationary Sources Using a Sorbent Trap Monitoring System*¹⁴

Esta especificación de eficacia se emplea para establecer parámetros para los sistemas de monitorización de trampa con sorbente, y evaluar su aceptabilidad, utilizados para monitorizar las emisiones de mercurio total en fase de vapor en corrientes de gases de combustión de fuentes estacionarias. Este método es conveniente para mediciones de mercurio de larga duración de hasta un tiempo de muestreo de 14 días para monitorizar niveles bajos de emisiones de mercurio.

2.4 Mediciones continuas

2.4.1 Sistemas de monitorización continua de las emisiones

Los sistemas de monitorización continua de las emisiones se emplean para monitorizar las emisiones gaseosas provenientes de fuentes puntuales durante períodos prolongados. Este método de monitorización no mide el mercurio particulado. Con este método automatizado, se toman muestras representativas continuamente o a intervalos fijos mediante una sonda insertada en la corriente de gas. En consecuencia, los sistemas de monitorización continua de las emisiones son útiles para la monitorización ininterrumpida de las emisiones de mercurio, que pueden variar a lo largo de intervalos cortos debido a cambios en las concentraciones de mercurio en las materias primas, los combustibles o los reactivos. Por ejemplo, los sistemas de monitorización continua de las emisiones serían convenientes durante la incineración conjunta de material de desecho como combustible debido a la rapidez con que cambia el contenido de mercurio en los desechos. Durante los últimos diez años los requisitos de las reglamentaciones relativas a la monitorización y presentación de informes han dado lugar a que este método se utilice cada vez más en los Estados Unidos y la Unión Europea entre determinadas fuentes. Si bien el costo de instalación y funcionamiento puede ser elevado cuando se compara a otros métodos, los sistemas de monitorización continua de las emisiones proporcionan la mayor cantidad de datos, y generan información en tiempo real sobre diversos tipos de operaciones y fluctuaciones de los procesos.

La ubicación del punto de muestreo debe seleccionarse cuidadosamente para proporcionar datos representativos y útiles. En una instalación compleja con múltiples salidas que posiblemente emitan mercurio, el costo de instalar sistemas de monitorización continua de las emisiones en cada salida puede ser muy elevado. Según estimaciones pertinentes y tomando como base datos de los Estados Unidos correspondientes a 2010, el costo general de instalar un nuevo sistema de monitorización continua de las emisiones para detectar mercurio en una central eléctrica de carbón es de aproximadamente 500.000 dólares, de los cuales 200.000 dólares corresponden al sistema, con inclusión de la puesta en marcha, la capacitación y los sistemas de calibración, y entre 200.000 y 300.000 dólares corresponden a la preparación del lugar¹⁵. En los sistemas más recientes, en los que no es necesario efectuar calibraciones diariamente, los costos son mucho menores. La información reciente proporcionada por un proveedor de equipo de medición de mercurio en la Unión Europea indica un costo de aproximadamente 150.000 euros (170.000 dólares), que incluyen el propio sistema, la infraestructura e instalación necesarias, el mantenimiento, la calibración y la validación¹⁶.

En instalaciones con múltiples chimeneas y en las que el sistema de monitorización continua de las emisiones sea técnica y económicamente viable, así como informativo, el sistema de monitorización continua de las emisiones debe ubicarse en el punto de salida de la instalación por el que se emita el grueso o la mayor masa de emisiones de mercurio. Si bien en esos casos el sistema de monitorización continua de las emisiones no

¹³ Amar, P., C. Senior, R. Afonso y J. Staudt (2010). NESCAUM Report “*Technologies for Control and Measurement of Mercury Emissions from Coal-Fired Power Plants in the United States: A 2010 Status Report*”, July 2010, pp. 2–22. <http://www.nescaum.org/activities/major-reports>.

¹⁴ US EPA Performance Specification 12B. <http://www.epa.gov/ttn/emc/perfspec.html>.

¹⁵ Amar, P., C. Senior, R. Afonso y J. Staudt (2010). NESCAUM Report “*Technologies for Control and Measurement of Mercury Emissions from Coal-Fired Power Plants in the United States: A 2010 Status Report*”, July 2010, pp. 2–7. <http://www.nescaum.org/activities/major-reports>.

¹⁶ Gerter, F., y A.G. Sick, Alemania, comunicación personal. Septiembre de 2015.

proporcionaría información correspondiente a todos los puntos de salida de gas, los datos resultantes podrían proporcionar una indicación útil en tiempo real de las tendencias de eficacia del proceso y la eficiencia del control del mercurio.

En el sistema de monitorización continua de las emisiones para detectar mercurio, la muestra extraída se filtra para eliminar la materia particulada y la muestra vaporosa resultante se encamina hacia un analizador de mercurio. En general, los analizadores del sistema de monitorización continua de las emisiones se deben mantener bajo control de temperatura uniforme para evitar errores instrumentales y cambios en los resultados. Cabe señalar que estos analizadores detectan mercurio únicamente en la fase de vapor (Hg^0 y Hg^{2+}), y cualquier mercurio unido a partículas presente en la muestra sería atrapado por el filtro. No obstante, debido a que las instalaciones pertinentes deben funcionar con dispositivos de control de materia particulada eficientes, no deben existir concentraciones importantes de materia particulada en las emisiones finales de gases de chimenea y, en consecuencia, poco mercurio unido a partículas presente en la corriente gaseosa final. El sistema de monitorización continua de las emisiones se puede emplear para analizar gas de combustión seco o gas de combustión saturado de agua, como después de un depurador húmedo. No obstante, el sistema de monitorización continua de las emisiones utilizado para monitorizar el gas saturado de agua requiere una sonda especial de filtro fijo para evitar el bloqueo causado por la condensación del agua. Cabe señalar que algunos sistemas de monitorización continua de las emisiones también podrían experimentar interferencia causada por otras sustancias presentes en la corriente de gas.

El sistema de monitorización continua de las emisiones para detectar mercurio mide directamente el gas de mercurio elemental (Hg^0) empleando ya sea absorción atómica de vapor frío (CVAA) o fluorescencia atómica de vapor frío (CVAF). En consecuencia, el mercurio oxidado gaseoso (Hg^{2+}) presente en el gas analizado se debe reducir a Hg^0 antes que se pueda medir. Este proceso se denomina conversión del gas analizado. La reducción ocurre cuando el gas analizado pasa a través de una celda de reducción térmica de alta temperatura o a través de un borboteador que contenga una sustancia química reductora, como cloruro de estaño.

El sistema de monitorización continua de las emisiones puede emplearse para proporcionar datos sobre las emisiones de mercurio continuamente o durante períodos fijos, como cada media hora o cada hora. Es de destacar que los datos obtenidos del sistema de monitorización continua de las emisiones se pueden transmitir continuamente al sistema de control del proceso mediante un circuito de retroinformación para indicar tendencias de funcionamiento en tiempo real para controlar el proceso y contribuir a mantener al máximo la eficiencia funcional.

El sistema de monitorización continua de las emisiones se debe calibrar correctamente para asegurar la precisión de los datos. Esto se logra comparando los resultados con las muestras tomadas simultáneamente en el mismo punto de muestreo que después se analizan mediante métodos manuales pertinentes de realización de pruebas en la fuente. Es posible que se disponga de algunas normas para gases de calibración y, de ser así, esas normas se pueden utilizar para calibrar directamente el instrumento. Los procedimientos habituales de mantenimiento y control de calidad se deben realizar de conformidad con las especificaciones de la autoridad o el fabricante pertinentes, para de esa manera evitar variaciones en los datos.

Métodos de referencia existentes:

- *US EPA PS-12a (Performance Specification 12a) – Specifications and Test Procedures for Total Vapour Phase Mercury Continuous Emission Monitoring Systems in Stationary Sources*¹⁷

Esta especificación de eficacia se emplea para evaluar la aceptabilidad del sistema de monitorización continua de las emisiones para mercurio total en fase de vapor instalado en fuentes estacionarias al efectuarse la instalación, o poco tiempo después de realizarse esta, y siempre que se especifique según los requisitos reglamentarios. El sistema de monitorización continua de las emisiones mide la concentración de mercurio total en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de mercurio en fase de vapor, independientemente de la especiación, y registra los resultados en condiciones estándar sobre una base húmeda o seca. Este método no mide el mercurio unido a materia particulada.

- *EN 14884:2005 – Air quality – Stationary source emissions – Determination of total mercury: Automated measuring systems*¹⁸

¹⁷ US EPA Performance Specification 12A. <http://www.epa.gov/ttn/emc/perfspec.html>.

¹⁸ European Committee for Standardization, “EN 14884:2005: Air quality – Stationary source emissions – Determination of total mercury: automated measuring systems”, 28 November 2005. http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT:22225&cs=1D527AD08718E6354287EA554A53ADF26.

Esta norma europea describe los procedimientos de garantía de calidad relativos al sistema de monitorización continua de las emisiones para la determinación del mercurio total en el gas de combustión, a fin de cumplir los requisitos de ambigüedad en los valores medidos especificados por los reglamentos, la legislación nacional u otros requisitos. La norma se ajusta a la norma general sobre garantía de calidad en los sistemas de monitorización continua de las emisiones (EN 14181:2014 – Stationary source emissions – Quality assurance of automated measuring systems¹⁹).

La norma EN 14181:2014 está diseñada para emplearse después que el sistema de monitorización continua de las emisiones ha pasado una prueba de idoneidad (QAL1, según se define en EN 15267²⁰) que demuestre que es idóneo para la finalidad prevista antes de su instalación en el sitio designado. EN14181:2014 describe los procesos de garantía de calidad necesarios para asegurar que un sistema de monitorización continua de las emisiones es capaz de cumplir los requisitos de ambigüedad respecto de los valores medidos, que se especifican en la Unión Europea o la legislación nacional.

- *Method EN 13211:2001/AC: 2005 – Air quality – Stationary source emissions – Manual method of determination of the concentration of total mercury*²¹

Esta norma europea especifica un método de referencia manual para la determinación de la concentración de masa de mercurio en los gases de escape proveniente de conductos y chimeneas. Este es el método de referencia para mediciones comparativas para calibrar los sistemas de monitorización continua de las emisiones para detectar mercurio. Este método ha sido incluido previamente en la sección 1.1.2.1.1 sobre muestreo por borboteador.

- *JIS K0222 (Article 4(3) – Methods for determination of mercury in stack gas (Continuous monitoring method)*²²

Este método de referencia del Japón mide directamente el mercurio total en fase de vapor proveniente de fuentes estacionarias continuamente mediante espectrometría de absorción atómica de vapor frío. En este método, el mercurio oxidado en fase de vapor (Hg^{2+}) presente en el gas muestreado se reduce a mercurio elemental i (Hg^0) haciendo pasar el gas muestreado a través de cloruro de estaño.

2.5 Métodos de medición indirecta

Los métodos de medición indirecta que se describen a continuación son útiles para estimar las emisiones de mercurio provenientes de un proceso o una instalación. En general, la mayoría de los métodos de medición indirecta no suelen considerarse tan fiables y precisos como las técnicas de medición directa para la monitorización de las emisiones de mercurio. En contraste con los métodos de medición directa, los métodos de medición indirecta no proporcionan información sobre las concentraciones de mercurio presentes en gases de chimenea ni tasas de emisión total. Cuando se realizan según procedimientos de prueba apropiados, los métodos de medición directa previamente enumerados proporcionarían datos más representativos sobre las emisiones de mercurio que la mayoría de los métodos de medición indirecta. No obstante, procedimientos técnicos que no requieren medición resultan útiles como herramientas investigativas y de selección para la monitorización del desempeño general de procesos y la estimación de la eficiencia de la reducción del mercurio. Para fines de presentación de informes, estos métodos de medición indirecta pueden emplearse para proporcionar una

¹⁹ European Committee for Standardization, “EN 14181:2014: Stationary source emissions - Quality assurance of automated measuring systems”, 11 October 2014.
http://standards.cen.eu/dyn/www/?p=204:110:0:::FSP_PROJECT:33416&cs=1D563C09742AECB59945D4E1D645A5DCB.

²⁰ EN 15267-1 Air quality – Certification of automated measuring systems – Part 1: General principles, EN 15267-2: Air quality – Certification of automate measuring systems – Part 2: Initial assessment of the AMS manufacturer’s quality management system and post certification surveillance for the manufacturing process, EN 15267-3: Air quality – Certification of automated measuring systems – Part 3: Performance criteria and test procedures for automated measuring systems for monitoring emissions from stationary sources.

²¹ European Committee for Standardization, “EN 13211:2001/AC:2005: Air quality - Stationary source emissions - Manual method of determination of the concentration of total mercury”, February 15, 2005.
http://standards.cen.eu/dyn/www/?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:25042,6245&cs=19B884B499893080A731C45504F6F2FB2.

²² Japanese Standards Association, “JIS K0222;1997; Methods for determination of mercury in stack gas”, 20 August 1997.

estimación general de las emisiones a nivel de instalación si no se dispone de métodos de medición directa, o estos no son aplicables.

2.5.1 Balance de materia

El balance de materia se realiza aplicando la ley de conservación de la materia a un sistema (por ejemplo, instalación, proceso o pieza de equipo). En ese sistema, cualquier mercurio que entre en el proceso, en la materia prima, los aditivos o el combustible, deben salir a través de los productos, subproductos, desechos o emisiones y liberaciones. Por consiguiente, las emisiones y liberaciones de mercurio está determinadas a partir de las diferencias en los insumos, los productos resultantes, la acumulación y el agotamiento. La ecuación general para el balance de materia es:²³

$$M_{\text{entrada}} = M_{\text{salida}} + M_{\text{acumulada/agotada}}$$

Donde:

M_{entrada} = masa de mercurio que entra en la instalación en la materia prima, el combustible, los aditivos, etc.

M_{salida} = masa de mercurio que sale de la instalación en productos terminados, subproductos, desechos y emisiones y liberaciones

$$(M_{\text{salida}} = M_{\text{producto}} + M_{\text{subproducto}} + M_{\text{desecho}} + M_{\text{emisiones}} + M_{\text{liberaciones}})$$

$M_{\text{acumulada/agotada}}$ = masa de mercurio acumulada o agotada dentro de la instalación

Para calcular las emisiones de mercurio en un sistema mediante un balance de materia, las concentraciones de mercurio y las tasas de flujo de materia de todas las otras corrientes (por ejemplo, productos, subproductos, efluentes, fangos) se deben rastrear y registrar durante un período especificado. Los datos sobre la masa de mercurio se calcularían multiplicando la concentración de mercurio por el flujo másico de la corriente y el período de tiempo (por ejemplo, un año). Una ventaja de emplear el método de balance de materia es que las emisiones de mercurio se pueden estimar tanto para las fuentes puntuales como las difusas (incluidas las emisiones fugitivas), si una parte desea estimar también las emisiones de fuentes no puntuales.

En un sistema con múltiples fuentes de emisión y pocos datos sobre las chimeneas o conductos de salida, el enfoque de balance de materia puede proporcionar información útil y representativa sobre los flujos de mercurio durante un período prolongado, como de un año. En los procesos en que las emisiones podrían variar mucho en el transcurso del tiempo, los resultados de un balance de materia anual completo pueden proporcionar más datos representativos sobre las emisiones que las mediciones directas puntuales, como una prueba de escape anual. Por ejemplo, las instalaciones de producción de cemento de la Unión Europea se han opuesto a lecturas imprecisas resultantes de métodos de medición directa debido a la alta incertidumbre en las mediciones del volumen de las emisiones en la chimenea. Para esas instalaciones, el empleo de los métodos de balance de materia ha disminuido la incertidumbre relativa en la estimación de las emisiones de mercurio, en comparación con los métodos de medición directa.

No obstante, resulta difícil lograr mediciones precisas y representativas del contenido de mercurio en combustibles o materias primas variables. Además, en los casos en que las cargas internas de mercurio se reciclan en el proceso (por ejemplo, en reservas, productos intermedios, fangos), se debe tener cuidado en dar razón del mercurio en esas corrientes. En procesos complejos con múltiples flujos de insumos y productos finales, o cuando los datos se obtienen mediante estimación, puede resultar difícil calcular cifras definitivas para el balance de materia.

2.5.2 Sistemas predictivos de monitorización de las emisiones

Los sistemas predictivos de monitorización de las emisiones, también denominados monitorización paramétrica, funcionan desarrollando correlaciones entre los parámetros de funcionamiento del proceso y las tasas de emisiones de mercurio utilizando la monitorización continua de parámetros sustitutos, factores de emisión y pruebas en la fuente. Este método puede ser útil para proporcionar una indicación de la eficiencia del control del mercurio en tiempo real. En este método no se realiza un muestreo verdaderamente continuo del mercurio. En las instalaciones modernas, parámetros como el uso de combustible, la temperatura del horno, la presión y tasa

²³ Environment Canada, "Guide for Reporting to the National Pollutant Release Inventory (NPRI) 2012 and 2013, Canadian Environmental Protection Act, 1999 (CEPA 1999)", 2013, p. 18. <https://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=28C24172-1>.

de flujo del gas suelen monitorizarse de manera continua empleando sistemas de control del proceso para asegurar la eficiencia funcional. Si bien estos tipos de indicadores pueden constituir un punto de partida útil, la selección de parámetros pertinentes y sus correspondientes correlaciones con las tasas de emisión de mercurio probablemente sea específica para el proceso o la instalación.

En ciertos tipos de procesos en que hay poca variabilidad en el contenido de mercurio de la materia prima, el combustible y otras corrientes de insumos, los sistemas predictivos de monitorización de las emisiones puede ofrecer un medio útil para proporcionar una indicación de las tendencias de las emisiones de mercurio. Por ejemplo, algunas instalaciones del sector del oro industrial en los Estados Unidos monitorizan la eficiencia funcional de sus depuradores de cloruro de mercurio, rastreando la presión de la solución en el punto de admisión del depurador, la temperatura del gas en el punto de admisión, y la concentración del cloruro de mercurio (II) en la solución que sale del depurador.

No obstante, es posible que los sistemas predictivos de monitorización de las emisiones no constituyan un método fiable para monitorizar las emisiones de mercurio en aplicaciones en que el contenido de mercurio en combustibles o materias primas puede variar apreciablemente durante períodos cortos. Por ejemplo, en las instalaciones de incineración de desechos y fabricación de cemento que utilizan combustibles derivados de desechos, el contenido de mercurio que entra en el sistema o instalación es generalmente impredecible. En las centrales eléctricas de carbón, las emisiones de mercurio pueden variar en respuesta a cambios en el contenido de mercurio del carbón. Similarmente, en el sector de los metales no ferrosos, el mercurio en los insumos de los hornos puede cambiar rápidamente de acuerdo con los concentrados que se estén procesando. Además, las emisiones de mercurio pueden variar en muchos procesos debido a fluctuaciones térmicas y cambios en la especiación del mercurio. Como resultado, el establecimiento de correlaciones entre los parámetros sustitutos y las emisiones de mercurio podrían no producir resultados representativos. Si se estudia la posibilidad de emplear sistemas predictivos de monitorización de las emisiones, primeramente se debe llevar a cabo un análisis exhaustivo para determinar la incertidumbre del método caso por caso, y se deben comparar con regularidad a un método de prueba de referencia. Cabría esperar que cuando un conjunto suficiente y amplio de datos de referencia se puede recopilar para proporcionar una base sustantiva para elaborar el algoritmo del sistema predictivo de monitorización de las emisiones, mejore la calidad de los datos proporcionados por ese sistema.

2.5.3 Factores de emisión

Si bien el empleo de factores de emisión no es un método de monitorización por sí mismo, esta técnica de ingeniería puede emplearse para proporcionar una estimación general útil de las emisiones de mercurio provenientes de un sistema o una instalación.

Se emplean factores de emisión para proporcionar una estimación de la cantidad de emisiones liberadas a partir de una fuente sobre la base de los niveles habituales de las emisiones resultantes de esa actividad. Para el mercurio, los factores de emisión podrían expresarse como la masa de mercurio emitido dividida por: la masa o el volumen de material de insumo consumido; o la masa o el volumen del material de producto final generado.

Cabe esperar que los factores de emisión específicos para cada sitio, que las instalaciones elaboran sobre la base de los datos de prueba de las emisiones efectivas y la información sobre la actividad de la fuente, proporcionen estimaciones más precisas que los factores de emisión generales publicados. Sería menester que los factores de emisión específicos para cada sitio se establecieran mediante pruebas durante períodos de funcionamiento normal, a fin de proporcionar una mejor representación de la tasa media de emisiones de mercurio provenientes del proceso o la instalación de que se trate. Si se puede disponer de los datos de medición específicos para el sitio, sería preferible usar los cálculos basados en esos valores medidos en lugar de factores generales publicados.

En los casos en que no se dispone de factores de emisión específicos para el sitio, se pueden utilizar factores de emisión publicados para proporcionar una estimación aproximada de las emisiones. Es posible que se disponga de los factores publicados de las emisiones para todo el proceso o para el dispositivo específico de control del mercurio. No obstante, cabe señalar que estos factores de emisión generales proporcionan estimaciones muy imprecisas de las emisiones.

Dicho esto, en los procesos en que puede existir variabilidad en el contenido de mercurio de los combustibles o los insumos, es posible que los factores de emisión no proporcionen estimaciones fiables de las emisiones de mercurio. Por ejemplo, en la incineración de desechos o la fabricación de cemento en que se usan combustibles derivados de desechos, el contenido de mercurio en el combustible puede variar apreciablemente en períodos cortos.

La ecuación general para estimar las emisiones de mercurio mediante un factor de emisión es:

$$H_c = BQ \times CEF_{Hg} \text{ o}$$

$$E_{\text{Hg}} = \text{BQ} \times \text{EF}_{\text{Hg}} \times (100 - \text{CE}_{\text{Hg}})/100$$

Donde:

E_{Hg} = Emisión de mercurio (kg u otra unidad de masa)

BQ = Tasa de actividad o cantidad base (unidad de cantidad base)

CE_{Hg} = Factores de emisión de mercurio controlados (kg/BQ) [sujeto a cualesquiera dispositivos de control de las emisiones instalado]

EF_{Hg} = Factores de emisión de mercurio no controlados (kg/BQ)

CE_{Hg} = Eficiencia general del control de las emisiones de mercurio (por ciento)

2.5.4 Técnicas de estimación

También se pueden obtener estimaciones generales de las emisiones de mercurio empleando principios de ingeniería, el conocimiento de los procesos químicos y físicos pertinentes, la aplicación de las leyes químicas y físicas conexas, y la familiarización con las características específicas del sitio.

Por ejemplo, las emisiones de mercurio anuales provenientes del uso de combustibles se pueden estimar de la manera siguiente:

$$E_{\text{Hg}} = \text{QF} \times \% \text{Hg} \times T$$

Donde:

E_{Hg} = Emisiones anuales de mercurio (kg/y)

QF = Tasa de uso de combustible (kg/h)

% Hg = Por ciento de mercurio en el combustible, por peso

T = tiempo de funcionamiento (h/y)

Las estimaciones de ingeniería se deben considerar únicamente como aproximaciones generales rápidas con un alto nivel de incertidumbre. Para mejorar la precisión, los resultados de las estimaciones de ingeniería se deben comparar periódicamente con los datos obtenidos a partir de métodos de medición directa. Cabe esperar que cuando se dispone de información específica sobre el sitio, esos datos brinden información más útil y se preferirán para comprender las tasas efectivas de emisión de la fuente. Las estimaciones de ingeniería constituyen el último recurso cuando no se dispone de datos sobre las emisiones o factores de emisión.

2.5.5 Notificación de las emisiones

La notificación de las emisiones constituye una parte esencial del ciclo de monitorización de las emisiones a nivel de la instalación.

Cuando se debe demostrar el cumplimiento de una medida jurídica o reglamentaria, generalmente el operador tiene la responsabilidad de notificar los resultados de la monitorización a la autoridad competente. Además, los datos a nivel de la instalación constituyen un componente fundamental de los inventarios nacionales de emisiones que se compilan utilizando un enfoque de abajo hacia arriba. Incluso cuando la notificación de las emisiones no está explícitamente establecida, se considera una práctica óptima intercambiar datos voluntariamente con las autoridades y el público competentes.

La notificación de la monitorización de las emisiones comporta resumir y presentar los resultados de la monitorización y la información conexas, como los métodos de garantía y control de la calidad, de manera eficaz, acorde con las necesidades de las entidades destinatarias. El informe debe ser claro, transparente y preciso. Los resultados deben presentarse en un formato conveniente e informativo.

Las emisiones de mercurio se deben expresar en una o más de las maneras siguientes: la concentración de mercurio en el gas del punto de salida; la masa de mercurio emitida por cantidad de producto producido (factor de emisión), y la masa de emisiones de mercurio durante un período dado (por ejemplo, por día o por año).

En el informe se deben examinar las consideraciones sobre calidad relativas al muestreo, el análisis y los resultados. Además, los resultados de las mediciones se deben proporcionar en un formato que permita la correlación de las emisiones de mercurio con los parámetros de funcionamiento del proceso.

Se deben detallar el método empleado (por ejemplo, las normas empleadas para el muestreo y el análisis) y las condiciones encontradas durante la recopilación de datos, como: las condiciones del proceso; la tasa de producción durante el muestreo; los incidentes o disfunciones durante el muestreo en el proceso de producción o los sistemas de reducción, y las variaciones en el material aportado.