

# Homologación de Procedimientos Técnicos para la Evaluación de Fuentes Fijas bajo los Requisitos del punto 5 de la NMX-EC-17025-IMNC-2006

## Homologation of Technical Procedures for the Evaluation of Fixed Sources under the Requirements Of Point 5 of the NMX-EC-17025-IMNC-2006

María Concepción Martínez-Rodríguez<sup>1</sup>,  
Lorena Elizabeth Campos-Villegas<sup>2</sup>, Jaime Ivan Sánchez-Quiroz<sup>3</sup>

Martínez-Rodríguez, M.C; Campos-Villegas, L; Sánchez-Quiroz, J. Homologación de Procedimientos Técnicos para la Evaluación de Fuentes Fijas bajo los Requisitos del punto 5 de la NMX-EC-17025-IMNC-2006. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33-2. Abril-Junio 2020. Pág 79-90.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4336>

*Fecha de recepción: 4 de mayo de 2019*  
*Fecha de aprobación: 1 de setiembre de 2019*



- 1 Profesora investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional. México.  
Correos electrónicos: mcmartinezr@ipn.mx; mconcepcionmr@yahoo.com.mx.
- 2 Profesora Investigadora del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional. México.  
Correo electrónico: lor\_ca2003@yahoo.com.mx
- 3 Instituto Politécnico Nacional. México.  
Correo electrónico: jaime.ivan.sanchez@gmail.com

## Palabras clave

Normalización; Norma Mexicana; documentación técnica; fuentes fijas.

## Resumen

Todo país industrializado o en vías de desarrollo cuenta con infinidad de procesos industriales, de máquinas, sistemas y aplicaciones que utilizan la combustión. La contaminación atmosférica representa un impacto ambiental no deseado, que se genera en las plantas productivas y en los procesos industriales, motivo por el cual se le han dedicado equipos, instalaciones y métodos de gestión para evitarla o intentar controlarla dentro de determinados límites. La Normatividad Mexicana especifica los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera en función de cada tipo de actividad y equipo (NOM-085-SEMARNAT-2011 y NOM-043-SEMARNAT-1993). La metodología radicará en la investigación documental con el propósito de homologar la documentación y procedimientos basados en la esquematización de la Norma Mexicana (NMX) y en los requisitos del personal, instalaciones, métodos, equipos, la trazabilidad, muestreo, control y aseguramiento de la calidad que se establecen en los mismos métodos de ensayo.

## Keywords

Standardization; Mexican Standard; technical documentation; fixed sources.

## Abstract

Every industrialized or developing country has countless industrial processes, machines, systems and applications that use combustion. Air pollution represents an unwanted environmental impact, which is generated in production plants and industrial processes, so it has been dedicated equipment, facilities and management methods to avoid or try to control it within certain limits. The Mexican Regulations specify the maximum permissible emission levels to the atmosphere depending on each type of activity and equipment (NOM-085-SEMARNAT-2011 and NOM-043-SEMARNAT-1993). The methodology will be based on documentary research with the purpose of standardizing the documentation and procedures based on the schematization of the Mexican Standard (NMX) and on the requirements of personnel, facilities, methods, equipment, traceability, sampling, control and assurance of the quality that are established in the same test methods.

## Introducción

La evaluación de las fuentes fijas forma parte del ciclo de prevención-control-mitigación y debe efectuarse de forma responsable, siempre realizada por personal técnico calificado, con equipos y protocolos validados, que permitan proveer de resultados metrológicamente confiables y con trazabilidad hacia el Sistema Internacional de Unidades (SI) [1].

La normalización tiene como objetivo elaborar especificaciones y requisitos técnicos, los cuales se ponen bajo la disposición de organizaciones públicas y privadas para mejorar la calidad y la seguridad de cualquier producto o actividad tecnológica, científica, industrial o de servicios, por lo que la adecuación y homologación de los criterios técnicos se muestra como principal variable de ingreso al proceso de normalización. La homologación de procedimientos y métodos de ensayo facilita la certificación con base a la reglamentación técnica necesaria. Ha sido utilizada en diversos campos de aplicación, uno de los campos más importantes es el relacionado con el control de alimentos. Como un ejemplo de caso práctico de homologación

se tiene el reportado por el Instituto de Prospectiva Tecnológica de la UE [2], en el cual declaran como intención principal el apoyo hacia el control de alimentos garantizando que los Estados dispongan de herramientas prácticas para implementar y mejorar reglamentaciones.

Actualmente los procesos de producción en serie, así como ciertos servicios, demandan la obtención de energía calorífica mediante la reacción exotérmica de una gran variedad de combustibles fósiles y alternativos. Las fuentes fijas generadoras de emisiones son plantas industriales o de servicios estacionarias que presentan emisiones de contaminantes y subproductos de la combustión a través de chimeneas o ductos de venteo [3], este tipo de fuentes emiten gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, óxidos metálicos y materiales particulados líquidos y sólidos, dichas emisiones contaminantes no son susceptibles a un confinamiento debido a las características físico-químicas de la matriz en la que se emiten, pero sí pueden ser sometidas a procesos de control antes de ser lanzadas a la atmósfera. Para que los ensayos de cuantificación de la emisión de contaminantes a la atmósfera sean reconocidos por las dependencias federales o por las dependencias de estados o municipios, los resultados deben de ser emitidos por laboratorios de ensayo acreditados; por consecuencia estos últimos deben demostrar mediante evidencia objetiva que cumplen con los requisitos establecidos en la normativa vigente y con las políticas del organismo acreditador.

El objetivo de este trabajo propone homologar la documentación técnica y de trabajo para la evaluación de fuentes fijas aplicable a laboratorios en fase de acreditación o en proceso de renovación, para satisfacer el punto 5 “Requisitos técnicos” de la NMX-EC-17025-IMNC-2006[4], dado que la norma mexicana presenta una total concordancia con la norma internacional ISO/IEC17025:2005. Los puntos de la NMX a considerar para llevar a cabo la homologación son los siguientes:

- 5.2 Personal
- 5.3 Instalaciones y condiciones ambientales
- 5.4 Métodos de ensayo y validación
- 5.5 Equipos
- 5.6 Trazabilidad de la medición
- 5.7 Muestreo
- 5.8 Manipulación de los ítems de ensayo
- 5.9 Aseguramiento de la calidad

La homologación y la documentación apropiada de procedimientos y requisitos técnicamente aptos, otorga al cliente y al proveedor de servicios de ensayo la certeza de que los trabajos de muestreo y análisis se apegan a métodos validados y reconocidos, los cuales, al aplicarse, derivan en la calidad metrológica del resultado emitido. Un resultado de calidad dota de información certera y confiable al cliente, lo que permite un eficaz control de los compuestos contaminantes emitidos a la atmósfera, promoviendo la oportuna implementación de acciones para incrementar la eficiencia térmica de los sistemas de combustión y también contribuyen a evitar el desequilibrio ecológico de la región.

La acreditación, un proceso técnico riguroso en los laboratorios, surge con la finalidad de dar confiabilidad y certeza a los trabajos analíticos mediante la aplicación de políticas, medidas de control y aseguramiento de la calidad y el cumplimiento de ciertos requisitos conciliados a nivel internacional. La homologación y conciliación de los procedimientos técnicos repercute directamente sobre la figura de la acreditación.

A pesar de que la mayor parte del ensayo, o medición de emisiones en fuentes fijas es considerado un trabajo de muestreo y debe de demostrarse el cumplimiento del punto 5.7 de la NMX-EC-17025-IMNC-2006 (muestreo), también debe de evidenciarse a profundidad el cumplimiento de los puntos 5.4 (Métodos de ensayo y validación) y 5.6. (Trazabilidad de la medición), ya que son elementos que requieren un arduo trabajo de homologación.

Debido a las características de la matriz gaseosa, la geometría del ducto, el diseño de chimeneas y ductos de venteo y la velocidad del flujo de los gases, se asume que las concentraciones de los contaminantes varían de punto a punto y de momento a momento.

En la actualidad, la Normatividad Mexicana carece de elementos que establezcan las directrices para la realización de muestreos representativos en fuentes fijas. Su ausencia afecta directamente la representatividad del muestreo (porcentaje de isocinetismo punto a punto), con lo que se compromete la veracidad y la calidad de los resultados emitidos por los laboratorios y lo que en consecuencia provoca la problemática sobre la eficacia de los controles de contaminantes atmosféricos. La propuesta de un esquema de adecuación y homologación técnica que contemple las normas NMX-AA-009-SCFI-1993[5], NMX-AA-010-SCFI-2001[6], NMX-AA-035-SCFI-1976[7] y NMX-AA-054-SCFI-1978[8] para el tratamiento matemático de datos, sería clave como medida de control ambiental y una garantía de la calidad en los resultados.

### **Instrumentos legales concernientes a la evaluación de Partículas Suspendidas Totales (PST) en Fuentes Fijas**

Actualmente, la Zona Metropolitana del Valle de México cuenta con 43 Laboratorios acreditados en la rama de Fuentes Fijas ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), de los 43 Laboratorios sólo 37 se encuentran dentro del Padrón de Laboratorios Ambientales, reconocido por la Secretaría del Medio Ambiente del DF [9]. La realización exitosa de un muestreo en chimeneas, o ductos de ventilación, involucra el uso correcto de los diversos componentes de los equipos, el seguimiento de protocolos y procedimientos de medición y la revisión de los parámetros de aseguramiento de la calidad para que los resultados sean trazables [10] y comparables con los límites máximos permisibles o con estudios realizados por cualquier otro laboratorio.

El muestreo en fuente comparado con métodos de estimación y balances de materia brinda la ventaja de ofrecer valores reales y no aproximaciones. La utilización de técnicas de muestreo en campo requiere de la aplicación de procedimientos de muestreo estandarizados, equipo de medición específico y personal calificado [11].

La regulación de actividades comerciales, técnicas de servicio y productivas en México se lleva a cabo por medio de las siguientes actividades [12]:

- Evaluación del estado de la normalización nacional e internacional
- Adopción o adaptación de normas técnicas internacionales
- Elaboración, estructuración y presentación de normas técnicas
- Constitución, integración, organización y administración de comités, organismos y grupos de trabajo de normalización
- Estudio y evaluación de los beneficios los costos y el impacto regulatorio de la aplicación de normas técnicas
- Uso o aplicación voluntaria de normas
- Aplicación u observancia obligatoria de normas y regulaciones.

La acreditación se define como el procedimiento mediante el cual un organismo autorizado, a través de procedimientos preestablecidos y utilizando tanto la normatividad internacional como la nacional, reconoce formalmente la competencia de una organización, o un laboratorio, para la realización de una determinada actividad de evaluación de la conformidad, en donde cada uno de los procedimientos son elaborados de acuerdo a criterios establecidos en normas o guías técnicas específicas [13].

### **Requisitos técnicos para demostrar la competencia de los laboratorios de ensayo**

Para un laboratorio, es fundamental que el personal con el que cuenta tenga establecidas actividades y responsabilidades y cuente con un perfil adecuado para el desarrollo de su puesto. Como principales herramientas para el desarrollo de sus actividades, el laboratorio debe de contar con los equipos y materiales requeridos y especificados en los métodos. Estos son de carácter fundamental, puesto que su ausencia, modificación o desviación afecta radicalmente las tareas del laboratorio. La cadena de trazabilidad es un punto importante a considerar dentro de la calibración de los equipos, puesto que a partir de ésta es posible brindar resultados trazables hacia el Sistema Internacional de unidades.

### **El sistema de gestión de calidad bajo los requisitos de la NMX-EC-17025-IMNC-2006**

Este estudio tiene como alcance la homologación conforme a los requisitos técnicos estipulados en el punto 5 de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006, que son los siguientes: personal, instalaciones y condiciones ambientales, métodos de ensayo y validación, equipos, trazabilidad de la medición, muestreo, manipulación de los ítems de ensayo y finalmente aseguramiento de la calidad.

Para los laboratorios de ensayo o calibración, la única forma de demostrar el desarrollo e implementación de un sistema de gestión de la calidad bajo ISO/IEC 17025[14], es el cumplimiento de los requisitos técnicos y administrativos, pero en gran medida la base de la acreditación de los laboratorios viene determinada por el desarrollo correcto y confiable de los ensayos efectuados, lo cual está plenamente descrito y establecido en la sección de requisitos técnicos de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. El grado de contribución de estos requisitos se ve reflejado notablemente en la estimación de la incertidumbre asociada a la medición, la cual difiere de ensayo a ensayo y es característica de cada laboratorio. De los requisitos técnicos estipulados en la norma, los relacionados con los factores humanos, instalaciones, condiciones ambientales, métodos de prueba, equipo de medición y manejo de ítems de ensayo son los que mantienen un mayor carácter de contribución sobre los resultados del ensayo.

Con fines de la evaluación de la información, la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 se ha analizado de forma sistemática con base en dos aspectos; primero se evalúa el punto de la norma con base en su criticidad sobre el resultado de la medición, se manejan tres valores de criticidad: alta, media o baja; el segundo aspecto evalúa la pertinencia de la inclusión de la información técnica en documentos normativos (inclusión en NOM, NMX o guía técnica).

### **Requisitos para el personal relacionado con la evaluación de fuentes fijas (requisito 5.2)**

El personal es la variable humana que afecta la confiabilidad del desarrollo de un método analítico. La evaluación del desempeño del personal operativo se encuentra ligada al punto de validación de métodos y se definirá con base en el mapeo de actividades y responsabilidades. El personal relacionado con la evaluación de fuentes fijas debe de cumplir con ciertos requisitos

establecidos en un perfil (formación, habilidades, experiencia, conocimientos) con la finalidad de demostrar y asegurar su competencia durante las actividades del muestreo y del análisis de los ítems de ensayo. Además, ha de ser físicamente capaz de llevar a cabo las tareas que exija su puesto [15].

### Características de las condiciones ambientales e instalaciones para el ensayo (requisito 5.3)

De acuerdo al alcance de este trabajo, la evaluación de fuentes fijas bajo el método de ensayo establecido en la NMX-AA-010-SCFI-2001, se efectúa en dos etapas: Trabajo de muestreo en campo y Trabajo analítico en el laboratorio.

Las condiciones ambientales e instalaciones durante la primera etapa son prácticamente únicas de cada fuente fija y de cada trabajo de muestreo, por lo tanto, no son susceptibles al control del laboratorio, sin embargo, el laboratorio y el personal deben de tomar precauciones y actuar conforme a lo estipulado en sus procedimientos generales de trabajo.

Cómo ejemplos no limitativos se encuentran los ambientes corrosivos, los ambientes con presencia de contaminantes en forma de aerosoles o nieblas ajenas a la fuente en estudio, la presencia de elementos particulados y las condiciones de humedad relativa extrema.

En contraparte, las instalaciones y las condiciones ambientales en la etapa de trabajo analítico en el laboratorio son totalmente atribuibles a la organización.

Las condiciones ambientales del laboratorio pueden influir de forma directa e indirecta sobre el proceso del ensayo en laboratorio y su efecto puede comprometer la calidad de los resultados analíticos e inclusive puede invalidar los resultados. Un control adecuado de las variables del medio es importante para el bienestar del personal, el funcionamiento de los instrumentos y cuestiones básicas de seguridad en el trabajo [15].

### Requisitos de equipos para la evaluación de fuentes fijas (requisito 5.5)

Los equipos de medición y de apoyo forman parte medular de la estructura de un laboratorio, motivo por el cual el laboratorio debe de estar provisto con todos los equipos para llevar a cabo las operaciones de muestreo y ensayo. Las cuestiones de mantenimiento, uso, calibración, adquisición y adicionales deben de llevarse a cabo de una forma regulada por el sistema de control de la calidad estipulado por el mismo laboratorio.

Los métodos de ensayo en cuestión se encuentran establecidos en las normas mexicanas siguientes:

- **NMX-AA-010-SCFI-2001:** Determinación de partículas en los gases que fluyen por un conducto.
- **NMX-009-SCFI-1993:** Determinación de flujo de gases en un conducto.
- **NMX-054-SCFI-1978:** Determinación de humedad en los gases que fluyen por un conducto.
- **NMX-054-SCFI-1978:** Determinación de la concentración de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases que fluyen por un conducto.



## **Trazabilidad de las mediciones (requisito 5.6)**

La trazabilidad metrológica es la propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con referencia a una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones. La trazabilidad es fundamental para que los resultados de las mediciones sean comparables a cualquier tiempo y lugar. Demostrar la cadena de trazabilidad no es un asunto sencillo, dentro de la administración del laboratorio debe de existir un elemento humano capaz de interpretar los datos proporcionados en los informes de calibración.

## **Método isocinético para determinar la concentración de partículas suspendidas totales**

Los métodos de prueba son la parte medular de un laboratorio de ensayos, en el caso de los métodos de prueba para la evaluación de fuentes fijas también incluyen aspectos relacionados con el muestreo, manejo, transporte, almacenamiento, preparación y disposición de los ítems de ensayo. Dada su importancia, los métodos de ensayo establecidos en las NMX y referenciados en las NOM deben de acatarse y seguir inequívocamente por los laboratorios las instrucciones y no es válida ninguna desviación.

Es importante que los laboratorios de ensayo empleen métodos de ensayo que satisfagan las necesidades de sus clientes, por tal motivo es primordial que los métodos utilizados sean de las versiones vigentes y actualizadas; en caso de que el cliente no especifique los métodos a utilizar durante el ensayo, el laboratorio tiene la posibilidad de seleccionar los métodos más apropiados para realizar esta labor.

## **Repercusión de la homologación de procedimientos sobre la tarea de muestreo**

Un laboratorio de ensayo requiere de métodos de medición que ofrezcan resultados válidos, para así demostrar su competencia técnica considerando elementos importantes como los equipos, los analistas y las condiciones medioambientales durante el desarrollo del ensayo. Los métodos normalizados, como las NMX aplicables al monitoreo de emisiones atmosféricas, son métodos que para demostrar su inclusión a la normativa fueron previamente validados.

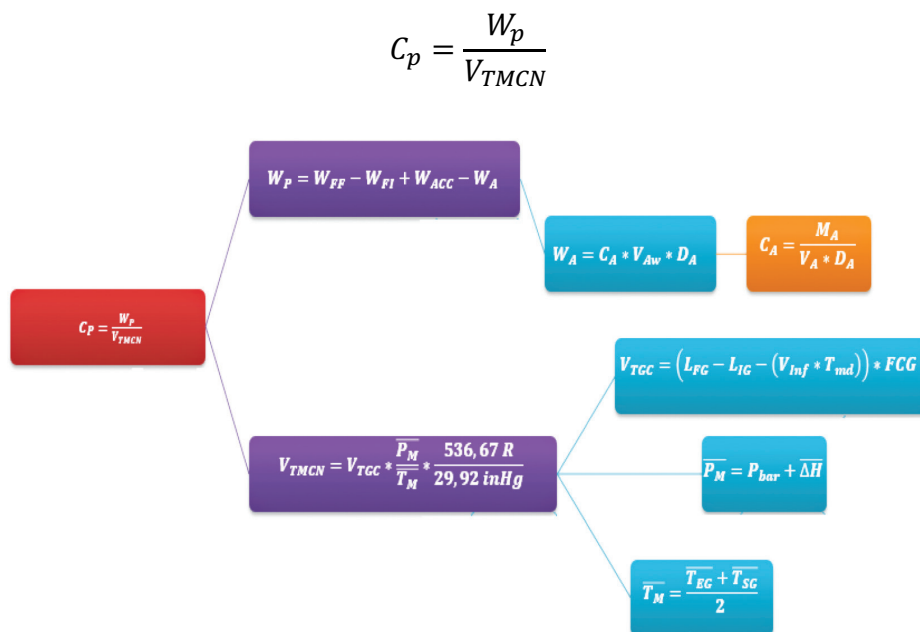
## **Propuesta para el manejo matemático de datos experimentales**

El manejo matemático de los datos afecta directamente la realización del muestreo. La correcta interpretación y uso de las variables físicas durante el momento del estudio contribuirán a alcanzar una mayor representatividad en el muestreo.

De acuerdo a la NMX-AA-010-SCFI-2001, el muestreo preliminar se maneja como obligatorio con la finalidad de obtener la información básica que debe de utilizarse en el muestreo definitivo y a través del preliminar es preciso obtener las variables [6] fracción húmeda preliminar, temperatura, presión estática, análisis de gases, peso molecular, velocidad promedio, tamaño de la boquilla y factor K promedio del preliminar.

Concluido el monitoreo definitivo en la fuente fija, es necesario llevar a cabo el tratamiento matemático de datos, para llegar al resultado final del ensayo (promedio de dos muestreos definitivos), que es expresado como la concentración de la emisión de partículas suspendidas totales expresada a condiciones normales de presión y temperatura y base seca. El siguiente tratamiento matemático se propone como un elemento base sencillo, directo y de unificación de los mecanismos establecidos en las normas previamente señaladas, en el cual de una manera ordenada se plantean las ecuaciones desarrolladas con toda la obtención de las variables de cálculo para la emisión del resultado de ensayo.

En la figura 1 se desglosa el método de obtención de cada variable involucrada en el cálculo final de la concentración de partículas muestreadas. Es preciso proceder con la determinación de la concentración de partículas a partir del peso de las mismas y del volumen colectado expresado en condiciones normales.



**Figura 1.** Secuencia de ecuaciones para la obtención de la concentración de partículas.

Donde:

- $C_p$  :Concentración de partículas a condiciones normales [ $\text{mg}/\text{m}^3$  ]
- $W_p$  :Peso de partículas [mg]
- $V_{TMCN}$  :Volumen total muestreado a condiciones normales [ $\text{m}^3$  ]

Para el cálculo, es importante obtener el peso de partículas colectadas en el medio filtrante y accesorios, puesto que las partículas se colectan en el filtro; sin embargo, es preciso también recuperar las partículas que pueden quedar adheridas al equipo de muestreo, para lo cual es de suma importancia obtener el peso de los residuos de evaporación de la acetona, debido a que, en la NMX se señala que se tiene que restar este peso y basados en el método 5 de la EPA [16], es posible usar este procedimiento para el cálculo de dicha variable, aunado a esto se complementa con el procedimiento para realizar el ensayo del Blanco de acetona descrito en la NMX-AA-010-SCFI-2001.

El siguiente paso fundamental es efectuar el cálculo del isocinetismo; dado que de éste depende la representatividad del muestreo en la fuente fija. El principio de isocinetismo es la relación que se da entre el volumen muestreado con el gasómetro seco de la consola y el volumen teórico muestreado a partir de un método indirecto que emplea como variables de ingreso la velocidad de los gases que fluyen por un conducto, el área transversal de la boquilla de muestreo y el tiempo total expresado en segundos del muestreo definitivo, en donde los rangos aceptables de isocinetismo están comprendidos entre el 90% y el 110% en promedio para aceptar los resultados del ensayo [17].

Para la estimación de la fracción húmeda y seca de los gases que fluyen por un conducto es necesario sustituir los valores de variables intermedias como lo son la presión manométrica en el medidor de flujo previamente calculada y la temperatura media de operación del medidor de flujo.



## Estimación de la incertidumbre asociada a la medición en la determinación de PST

Una medición tiene el propósito de determinar, el valor de una magnitud, llamada mensurando que de acuerdo al Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) [18], es el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. Así mismo todas las mediciones tienen una incertidumbre asociada que puede deberse a los factores siguientes[19]: la naturaleza de la magnitud que se mide, el instrumento de medición, el operario y las condiciones externas. Cada uno de estos factores constituye por separado una fuente de incertidumbre y contribuye en mayor o menor grado a la incertidumbre total de la medida.

En principio, es posible clasificar las fuentes de incertidumbres en dos conjuntos bien diferenciados:

Errores accidentales o aleatorios que aparecen cuando mediciones repetidas de la misma variable dan valores diferentes, con igual probabilidad de estar por arriba o por debajo del valor real.

Errores sistemáticos que son una desviación constante de todas las medidas, ya sea siempre hacia arriba o siempre hacia abajo del valor real.

En todo caso es importante mencionar que la estimación de la incertidumbre es un proceso que depende en gran medida de la infraestructura del laboratorio, del nivel de conocimientos metrológicos del analista, pero sobre todo del tratamiento numérico y estadístico que sufran los datos del análisis.

## Resultados

Para la implementación y mejora de la documentación al interior de los laboratorios ambientales con alcance en el monitoreo de fuentes fijas, en el presente trabajo se han diseñado diversas aportaciones, que facilitan cumplir los requisitos de la NMX-EC-17025-IMNC-2006, concentran información valiosa dado que se agrupan conforme a su nivel de criticidad y a su vez esto permite monitorear la efectividad y representatividad del muestreo en todo momento. En la determinación de PST, la secuencia del tratamiento de datos experimentales, es fundamental el flujo, peso molecular y contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto.

La propuesta de adecuación de tratamiento de datos experimentales y estimación de incertidumbre, en el cuadro I, es de un informe de resultados de la evaluación real en campo para una fuente fija (extractor de aire). Con la presentación de un resumen de resultados (Cuadro I) se avanza considerablemente en el cumplimiento de la función principal de un laboratorio de ensayo, que es la provisión de resultados organizados, trazables, confiables y válidos.

Los resultados de la investigación son apreciables en cuanto a la sistematización del método, el manejo de equipo y el personal, los tres grandes rubros a considerar por un laboratorio de ensayo.

En relación al método, la expresión del peso molecular por el producto de la concentración de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{N}_2$  con sus respectivos pesos moleculares y la fracción de gas seco (FGS), más el resultado de multiplicar por 18 (Peso Molecular del agua), por la fracción húmeda de los gases, se adecuó para evitar emplear la composición de los gases expresada en porcentaje y emplear la concentración como  $\text{cmol/mol}$ , conforme a lo establecido en el SI como punto para unificar el criterio.

**Cuadro 1.** Tabla de resultados experimentales para una fuente fija (extractor de aire).

	Primer definitivo		Segundo definitivo		Unidad	Primer definitivo		Segundo definitivo		Unidad
	Valor		Valor			Valor		Valor		
Volumen total corregido a condiciones de Gasómetro	39.2134		38.9073		ft <sup>3</sup>	1.1104		1.1017		m <sup>3</sup>
Presión manométrica promedio	23.0907		23.0905		in-Hg	78197.5126		78196.6825		pa
Temperatura promedio a condiciones de gasómetro	552.4167		553.0000		R	306.8981		307.2222		K
Fracción húmeda	0.002434		0.001311		adimensional					
Porcentaje de humedad	0.243433		0.131139		adimensional					
Incertidumbre del porcentaje de humedad	± 0.019093		± 0.019054		adimensional					
Fracción seca	0.9976		0.9987		adimensional					
Porcentaje seco	99.7566		99.8689		adimensional					
Peso molecular base húmeda	28.8096		28.8218		lb/lbmol					
Incertidumbre Peso molecular base húmeda	± 0.5692		± 0.5696		lb/lbmol					
Peso molecular base seca	28.8360		28.8360		lb/lbmol					
Presión en chimenea	23.0599		23.0599		in-Hg	78093.1361		78093.1361		pa
Velocidad promedio de los gases que fluyen por la chimenea	27.4484		27.6620		ft/s	8.3663		8.4314		m/s
Volumen total muestreado a condiciones de chimenea	39.3320		39.0100		ft <sup>3</sup>	1.1138		1.1046		m <sup>3</sup>
Volumen total muestreado por la boquilla	39.2665		39.5721		ft <sup>3</sup>	1.1119		1.1206		m <sup>3</sup>
Porcentaje de isocinétismo	100.1668		98.5797		adimensional					
Volumen total muestreado a condiciones normales	29.4721		29.1780		ft <sup>3</sup>	0.8346		0.8262		m <sup>3</sup>
Peso de partículas colectadas en el medio filtrante y accesorios	0.0180		0.0137		gr					
Concentración de partículas a condiciones normales	21.5682		16.5813		mg/m <sup>3</sup>					
Incertidumbre de concentración de partículas a condiciones normales	± 1.3617		± 1.3574		mg/m <sup>3</sup>					
Gasto volumétrico total muestreado a condiciones normales	0.0116		0.0115		m <sup>3</sup> /min					
Emisión de partículas por unidad de tiempo	0.2500		0.1903		mg/min	1.5000E-04		1.1417E-04		kg/h
Gasto volumétrico total a condiciones de chimenea	100.4538		101.2356		ft <sup>3</sup> /s	2.8445		2.8667		m <sup>3</sup> /s
Incertidumbre de Gasto volumétrico total a condiciones de chimenea	+ 1.0323		+ 1.0398		ft <sup>3</sup> /s	+ 0.0292		+ 0.0294		m <sup>3</sup> /s
Gasto volumétrico total en chimenea a condiciones normales	127.8878		128.6501		m <sup>3</sup> /min					
Gasto volumétrico total en chimenea a condiciones normales y base seca	127.5835		128.4865		m <sup>3</sup> /min					
Nivel máximo permisible de emisión	394.0699		392.9044		mg/m <sup>3</sup>					
Factor de emisión	0.0547		0.0422		adimensional					

En la propuesta se ha verificado la uniformidad dimensional y se ha propuesto una nomenclatura de literales claras y perfectamente definidas. Debido a que en el mercado nacional se distribuyen ampliamente equipos de origen diverso diseñados para otorgar mediciones en el sistema inglés, se decidió desarrollar la secuencia observando tanto en el sistema inglés como en el SI. Para facilitar la tarea de comprensión de las ecuaciones involucradas se estableció en el tratamiento de datos, un cambio de nomenclatura con respecto a la norma que facilitará la tarea de identificación de variables.

En la adecuación del tratamiento matemático de datos experimentales y en el ajuste de los procedimientos técnicos, con relación al método, se pueden resumir de tal forma que los mismos demuestren con objetividad el cumplimiento de los requisitos de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006.

## Conclusiones

Mediante la aplicación de las aportaciones concentradas en este trabajo y el cumplimiento cabal de los requisitos técnicos de la NMX-EC-17025-IMNC-2006, se puede inferir que las mediciones efectuadas aumentan su calidad metrológica y cumplen con los criterios de trazabilidad y de estimación de la incertidumbre. Ambos procesos se han definido históricamente por los laboratorios de ensayo como elementos complejos de cumplir.

El objetivo de homologación de la documentación técnica y de trabajo para la evaluación de fuentes fijas de acuerdo a los requisitos técnicos del punto 5.2 al 5.9 de la NMX-EC-17025-IMNC-2006, se cumplió vía la recopilación y clasificación de la información; la cual se hizo a partir de las publicaciones relacionadas con tópicos de metrología, normalización, validación y tratamiento estadístico de datos.

Los requisitos técnicos relacionados con la trazabilidad de la medición y con la estimación de la incertidumbre son complejos de observar por los laboratorios de ensayo y su cumplimiento es objeto de continuos debates entre los laboratorios y los organismos de acreditación.

Es importante no considerar la estimación de la incertidumbre como un requisito de bajo nivel de contribución; al contrario, a partir de sus variables intermedias es preciso determinar el desempeño de todos y cada uno de los elementos que intervienen en la realización de un ensayo.

La presencia de las fuentes fijas en el ramo industrial y de servicios es de vital importancia, motivo por el cual su desaparición a mediano o largo plazo no es factible.

Tecnológicamente han evolucionado hacia sistemas energéticos más limpios que substituyen progresivamente al uso de combustibles fósiles; sin embargo, las emisiones a la atmósfera deben seguir siendo monitoreadas y cuantificadas para la implementación de medidas locales y políticas públicas, que permitan mantener los niveles de la calidad del aire en condiciones ambientalmente favorables, con ello se cuida uno de los principales problemas de la humanidad que es la salud pública.

## Referencias

- [1] Talavera M., & Pezet, F. "Trazabilidad en las mediciones de masa". Memorias. Simposio de Metrología, Centro Nacional de Metrología. Querétaro, México. 2002.
- [2] Anklam, E., & Gilbert, J. "Mejora de la Protección de los consumidores: Apoyo al control de alimentos". The IPTS Report (30), 1998.
- [3] INE-SEMARNAT. "Segundo Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes 1998-1999". Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe. DF, México, 2001, pp. 135.

- [4] IMNC. Norma Mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006. "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración". Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. *Diario Oficial de la Federación*. Julio 2006.
- [5] SECOFI. Norma Mexicana NMX-AA-009-1993-SCFI, "Contaminación Atmosférica-Fuentes Fijas-Determinación de Flujo de Gases en un Conducto por medio de Tubo de Pitot". Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación*. Diciembre 1993.
- [6] DGN. Norma Mexicana NMX-AA-010-SCFI-2001. "Contaminación Atmosférica- Fuentes Fijas- Determinación de la emisión de partículas contenidas en los gases que fluyen por un conducto-Método Isocinético". Dirección General de Normas. *Diario Oficial de la Federación*. Abril 2004. DOI: CDU 677.2
- [7] DGN. Norma Mexicana NMX-AA-035-1976. "Determinación de bióxido de Carbono, Monóxido de Carbono y Oxígeno en los Gases de Combustión". Dirección General de Normas. *Diario Oficial de la Federación*. Junio 10, 1976.
- [8] DGN. Norma Mexicana NMX-AA-054-1978. "Contaminación Atmosférica - Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto - Método gravimétrico". Dirección General de Normas. *Diario Oficial de la Federación*. Noviembre 1992.
- [9] SMA DF. "En Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México". Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario. DF, México, 2008, pp. 147.
- [10] MinAmbiente. "Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas". Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Protocolo. Bogotá, Colombia, 2010, pp. 99.
- [11] INE-SEMARNAT. "Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas". Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Guía. DF, México, 2013, pp. 146.
- [12] Armenta, M. "Propuesta de un procedimiento de auditoría interna para el sistema de gestión de calidad del laboratorio de ensayos normalizados mecánicos de la UPIICSA". Tesis de Maestría. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, IPN, DF, México, 2007, pp. 189.
- [13] Hernández, A., Fabela, M. d., & Martínez, M. "Sistemas de Calidad y Acreditación Aplicados a Laboratorios de Prueba". Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México, 2001, pp. 72.
- [14] EMA. "Criterios de aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 MP-FE005-10. Entidad Mexicana de Acreditación". Manual de procedimientos, México, 2013, pp. 51.
- [15] FAO. "Manuales para el Control de Calidad de los Alimentos". 14: La Garantía de la Calidad en el Laboratorio Químico de Control de los Alimentos. Food and Agriculture Organization for the United Nations. Manual. Roma, Italia, 1996, pp. 152.
- [16] US EPA (2017a). Method 5 — Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources. United States Environmental Protection Agency [en línea]. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/method\\_5.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/method_5.pdf)
- [17] US EPA (2017b). Method 2 — Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube). United States Environmental Protection Agency [en línea]. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/method\\_5.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-08/documents/method_5.pdf)
- [18] BIPM. "International Vocabulary of Fundamental and General Terms in Metrology". Bureau International des Poids et Mesures. Francia, 1993, pp. 108.
- [19] Álvarez Ramos, M., & Acuña Campa, H. "Introducción al estudio de las mediciones. En: Manual de Laboratorio de Mecánica y Fluidos". Universidad de Sonora, Sonora, México, 2005, pp. 1-19.