

## La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el monitoreo de la calidad del aire

### Calibration for the assurance of data quality PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the monitoring of air quality

GARCÍA-ALVA, Sigifredo†\*, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto

*TecNM / Instituto Tecnológico de Nogales División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), Ave. Instituto Tecnológico # 911 Col. Granja CP. 84065, Nogales Sonora, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Sigifredo, García-Alva/ ORC ID: 0000-0001-7559-1421, Researcher ID Thomson: F-6909-2018, arXiv ID Author: Sigifredo#1*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Guillermina, Muñoz-Zamora/ ORC ID: 0000-0001-7480-8174, Researcher ID Thomson: F-4285-2018, arXiv ID Author: guillermina##*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Zindi, Sánchez-Hernández/ ORC ID: 0000-0002-0211-2378, Researcher ID Thomson: F-4328-2018, arXiv ID Author: zindi.sanchez*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Hugo Alberto, Arguelles-Ortiz/ ORC ID: 0000-0002-1824-1740, Researcher ID Thomson: G-7813-2018, arXiv ID Author: haao*

Recibido 12 de Octubre, 2018; Aceptado 19 de Noviembre, 2018

#### Resumen

Ante la importancia que tiene el problema de la contaminación atmosférica a nivel mundial, se requiere que los sistemas de monitoreo generen datos de calidad. Este trabajo está enfocado en verificar y asegurar la calidad de los datos crudos obtenidos por la caseta de calidad del aire instalada en el TecNM/Instituto Tecnológico de Nogales (ITN), con el fin de definir una serie de pasos así como el equipo requerido para la calibración basada en el flujo de aire y la detección de fugas de los muestreadores para contaminantes particulados de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>; las calibraciones que cumplieron los requisitos aseguran que los datos obtenidos desde la calibración anterior fueron válidos y cumplen con las normas mexicanas vigentes para datos crudos. Se obtuvieron los siguientes resultados, se monitoreó del 26 de junio del 2016 al 29 de junio del 2017 realizándose 13 calibraciones, el de PM<sub>10</sub> pasó todas las calibraciones realizadas, el de PM<sub>2.5</sub> solo pasó 5 calibraciones. La robustez de los datos válidos servirá para continuar con el proceso de limpieza y validación, así como la aplicación de algoritmos de minería de datos.

Given the importance of the problem of air pollution worldwide, it is required that monitoring systems generate quality data. This paper is focused on verifying and ensuring the quality of the raw data obtained by the air quality booth installed in the TecNM/Instituto Tecnológico de Nogales (ITN), at order to define a series of steps as well as the equipment required for calibration based on airflow and leak detection of samplers for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate pollutants; the calibrations that fulfilled the requirements ensure that the data obtained from the previous calibration were valid and comply with current Mexican standards for raw data. The following results were obtained, monitored from June 26, 2016 to June 29, 2017 with 13 calibrations performed, PM<sub>10</sub> passed all calibrations performed, PM<sub>2.5</sub> only passed 5 calibrations. The robustness of the valid data will serve to continue with the cleaning and validation process, as well as the application of data mining algorithms.

**Raw data, Calibration, Contaminants, Valid data**

**Datos crudos, Calibración, Contaminantes, Datos válidos**  
**Abstract**

**Citación** GARCÍA-ALVA, Sigifredo, MUÑOZ-ZAMORA, Guillermina, SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Zindi y ARGUELLES-ORTIZ Hugo Alberto. La Calibración para el aseguramiento de la calidad de datos PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el monitoreo de la calidad del aire. Revista de Ingeniería Innovativa 2018. 2-8:22-26

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sga0097@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los contaminantes criterio que se monitorean son: el ozono (O<sub>3</sub>), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el plomo (Pb) (INECC, 2010), las partículas suspendidas totales (PST), las partículas suspendidas menores a 10 (PM<sub>10</sub>) y a 2.5 (PM<sub>2.5</sub>) micrómetros. Debido a la producción de diésel y gasolinas sin plomo (PB), se produjo una disminución en estas emisiones, por lo que este contaminante se dejó de monitorear, así como también en el caso de PST, por implicar el uso de equipos manuales y no ser tan específicos en el tipo de partícula monitoreada, poco a poco se ha dejado de realizar. Para el resto de los contaminantes su monitoreo se encuentra vigente (INECC, 2013; US EPA, 2008).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 92% de la población a nivel mundial vive en lugares que exceden los límites de calidad del aire recomendados (OMS, 2016). Ante el fuerte impacto de la contaminación del aire en la población y en los recursos naturales, aunado a la topografía de ambos Nogales (Sonora-Arizona), debido a que son ciudades fronterizas entre México y Estados Unidos de Norte América, Nogales Sonora es la ciudad más grande de la frontera de Sonora con una población en el 2018 de más de 256,000 habitantes y debido a que colinda con Nogales Arizona con una población de 20,483 habitantes y donde predominan las cañadas y los arroyos la calidad del aire en ambos lados de la frontera internacional ha presentado retos continuos como resultado de las características naturales de la zona y el crecimiento poblacional. El aumento resultante en el sector comercial, industrial y público para acomodar el crecimiento poblacional donde existe un parque vehicular prácticamente de 1 por cada 2 habitantes y una industria maquiladora que genera más de 60 mil empleos, representando poco más del 45% de empleos relacionados directamente con la industria y los servicios que ésta demanda, trae consigo sus propios retos. Estos retos pueden contribuir a deficiencias ambientales además de tener un efecto en la salud pública (LT Consulting, 2016; SIIES, 2016).

La ciudad de Nogales, Sonora, México cuenta con una estación automática de monitoreo de calidad del aire desde el 2011 instalada en el TecNM/Instituto Tecnológico de Nogales para el monitoreo de partículas y gases.

Dicha caseta estuvo fuera de servicio del 2012 al 2014. Por todo lo anterior se hacía indispensable contar en Nogales Sonora, con un sistema adecuado de monitoreo atmosférico bajo esquemas uniformes de operación y aseguramiento de calidad, motivo por el cual se logró la reactivación de la caseta de calidad del aire a finales del 2014 con fondos proporcionados por la Región 9 de US EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos) para los contaminantes particulados de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> dichos datos son publicados en México por SINAICA, en Estados Unidos por AIRNow dependiente de US EPA y en AQICN que es una página para contaminación del aire a nivel mundial (SINAICA, 2016; AQICN, 2010; AirNowtech, 2014).

## Descripción del método

La calibración es una comparación de un estándar de medición, o de un equipo, con un equipo de mayor exactitud en este caso DeltaCal, para detectar y cuantificar imprecisiones y reportarlas o eliminarlas mediante un ajuste. En este sentido, la calibración es la actividad de control de calidad más importante dentro de la medición, ya que establece la relación del valor medido por un equipo con la de un valor convencionalmente real, dando validez y trazabilidad a la medición (INECC, 2015). Antes de implementar cualquier actividad de medición, se recomienda que los equipos y sensores sean revisados para asegurar que se encuentran dentro de las tolerancias de calibración, y de no ser así, los equipos deberán ser debidamente calibrados en el lugar (CEDES, 2017).

Como parte del mantenimiento preventivo y calibración que se realiza cada mes a los monitores Thermo Fisher Scientific 5014i de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se requiere el retiro y limpieza de los filtros externos primeramente. Después se realiza la instalación del DeltaCal en el monitor para su calibración, la cual se realiza a través de un comparativo entre la lectura exterior proporcionada por el DeltaCal y la lectura interior proporcionada por el monitor, ambas lecturas se registran en una hoja de cálculo (TFS, 2009).

Los siguientes pasos son requeridos para realizar el mantenimiento preventivo y la calibración de estos equipos de acuerdo a estándares de la EPA y el INECC:

Paso 1: revisión de flujo no ajustado

Siendo:

$f_1 =$  flujo no ajustado tres puntos

$f_e =$  flujo equipo

$f_r =$  flujo referencia

$$f_1 = \left| \frac{\sum_{r=1}^3 f_r - \sum_{e=1}^3 f_e}{\sum_{i=1}^3 f_r} \right| * 100 \quad (1)$$

Se realizan 3 lecturas de monitor ( $f_e$ ) y del valor de referencia ( $f_r$ ), el valor de referencia promedio es de 16.67 lts/m. Con las tres lecturas de  $f_e$  y  $f_r$  se aplica la fórmula (1) para encontrar la diferencia promedio; las lecturas se deben realizar con un intervalo de 1 minuto entre ellas. El resultado de la diferencia promedio ( $f_1$ ) se interpreta de tres maneras en base al porcentaje obtenido, el “valor es aceptable” si  $f_1$  está en un rango de 0% al 2%, hay un “valor dudoso” si  $f_1$  es mayor 2% y menor del 2.5%, para valores mayores a 2.5% se “requiere calibración del equipo” (AZDEQ, 2016)

Paso 2: revisión de flujo ajustado de 3 puntos

El paso 2 es solo en caso de que el equipo requiera calibración y se encuentre que el porcentaje sea mayor del 2% de acuerdo con el paso 1

Siendo:

$f_2 =$  flujo de calibraciones ajustadas de 3 puntos

$f_e =$  flujo equipo

$f_r =$  flujo referencia

$$f_2 = \left| \frac{f_e - f_r}{f_r} \right| * 100 \quad (2)$$

Para esta verificación se emplea la fórmula (2) analizando cada punto por separado, donde se pone el muestreador en modo de autoajuste y se le inserta el valor que muestra el DeltaCal para que el muestreador se ajuste al valor de referencia de 16.7 t/s/m este proceso se puede realizar 3 veces dando un tiempo de 1 minuto por vez para que se autoajuste hasta obtener un “valor aceptable” donde la diferencia del flujo para  $f_2$  debe estar en un rango de 0% al 2%, para un “caso dudoso, se recomienda recalibración” que está entre mayor del 2% y menor del 2.5%, para valores mayores “requiere re-calibración el equipo”.

Paso 3: revisión de fugas

En este paso se utiliza la fórmula (3) que consiste en la detección de fugas del monitor, en caso de no pasar debe abrir el equipo y revisarse, después volverse a realizar el paso 2 (DOF, 2012).

Siendo:

$f_3 =$  fuga diferencia en %

$f_i =$  flujo inicial equipo

$f_f =$  flujo final equipo

$$f_3 = \left| \frac{f_f - f_i}{f_f} \right| * 100 \quad (3)$$

En la etapa de revisión de fugas para la fórmula  $f_3$  los valores aceptables para que pase la prueba de fugas son  $\leq .42$  %, si el valor es mayor de .42% no pasa la prueba de fugas, buscar fugas y hacer de nuevo la prueba.

Todo lo anterior basado en el manual de instalación, operación, calibración y mantenimiento definido por el fabricante (INECC, 2013).

## Resultados

Se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1 de las pruebas de calibración hechas a los muestreadores de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , se realizaron un total de 13 calibraciones en un rango de 4 a 5 semanas de cada una, los datos obtenidos fueron de un año desde el 16 de junio del 2016 al 29 de junio del 2017.

Para el caso de PM<sub>10</sub> como se muestra en la tabla 1, las calibraciones no detectaron falla en el medidor de flujo y el muestreador se mantuvo en los rangos válidos de calibración sin perderse datos de un total de 378 días que equivalen a 544,320 registros generados.

Para el muestreador de PM<sub>2.5</sub> a partir del 16 de junio del 2016 al 17 de octubre del 2016 pasaron las 5 calibraciones como se muestra en la tabla 1, los datos correspondieron a 147 días que son equivalentes a 211,680 registros válidos; del 18 de octubre del 2016 al 22 de marzo del 2017 fueron de la calibración 6 a la 9 con datos que corresponden a 156 días que no pasaron la calibración con un total de 224,640 registros no válidos. A partir de la calibración 10 el muestreador fue enviado a mantenimiento, como lo establecen las normas mexicanas para la operación de los sistemas de monitoreo de calidad del aire perdiéndose un total de 99 días con un total de 142,560 registros no válidos (DOF, 2012).

Después de realizar con éxito la primer etapa que es el proceso de calibración, solo los datos de PM<sub>10</sub> quedan listos para pasar a la segunda etapa que es el aseguramiento de la calidad de los datos por medio de un proceso de limpieza, verificación y validación de los datos ya que pasaron más del 75% de los registros (García-Alva, Muñoz-Zamora, Cruz-Rentería, & Nuñez-Silva, 2018).

Fecha Calibración	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
16/6/2016	Pasó	Pasó
13/7/2016	Pasó	Pasó
12/8/2016	Pasó	Pasó
23/9/2016	Pasó	Pasó
17/10/2016	Pasó	Pasó
11/11/2016	Requiere calibración	Pasó
16/12/2016	Requiere calibración	Pasó
16/1/2017	Requiere calibración	Pasó
14/2/2017	Requiere calibración	Pasó
23/3/2017	Enviado a Mtto.	Pasó
11/4/2017	Enviado a Mtto.	Pasó
15/5/2017	Enviado a Mtto.	Pasó
29/6/2017	Enviado a Mtto.	Pasó

**Tabla 1** Reporte de calibraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>  
Fuente: Elaboración Propia

**Agradecimientos**

Se agradece al Tecnológico Nacional de México (TecNM) porque el desarrollo del presente artículo es uno de los productos académicos del proyecto financiado y realizado en el Instituto Tecnológico de Nogales, el cual se tituló “Desarrollo de un ETL para datos de PM<sub>10</sub> de la estación de calidad del aire de Nogales Sonora”, con número de proyecto 5802.16-P y terminado en junio del 2017. También se agradece a la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES) por compartir los datos de la estación de calidad del aire instalada en Nogales, Sonora, así mismo al Arizona Department of Environmental Quality (AZDEQ) por su apoyo en la definición del proceso de calibración.

**Conclusiones**

Aplicando los estándares de la EPA en los mantenimientos y las calibraciones fueron detectadas las fallas que presentan los muestreadores y con ello se asegura la calidad de los datos crudos obtenidos en el sitio. Para el caso del PM<sub>10</sub> pasaron la calibración el 100% de los datos, para el caso del PM<sub>2.5</sub> solo pasó el 38.88% y fueron rechazados el 61.11% de los datos por no haber pasado la calibración o estar en mantenimiento el muestreador y como lo marca la norma oficial mexicana NOM-025-SSA1-2014 que solo se permite perder 3 meses o el 75 % de los datos en un año como máximo para que sea validado todo el año de monitoreo, en este último caso los datos para el muestreador de PM<sub>2.5</sub> no fueron válidos por el año (DOF, 2014).

La pérdida de datos se puede reducir con un buen plan de mantenimiento correctivo que incluya tener partes de repuesto a disposición que sean más susceptibles a dañarse para poder poner en operación rápidamente el muestreador descompuesto.

**Referencias**

AirNowtech. (02 de 07 de 2014). <https://www.airnowtech.org/s>. Recuperado el 12 de 06 de 2018, de <https://www.airnowtech.org/>: <https://www.airnowtech.org/sitelist.cfm>

AQICN. (01 de 01 de 2010). <http://aqicn.org>. Recuperado el 05 de 06 de 2018, de <http://aqicn.org>: <http://aqicn.org/map/world/es/#@g/31.3743/-109.8372/9z>

AZDEQ. (2016). *Formulario de revisión del sitio de Nogales*. EPA, Quality Air. Nogales Sonora: AZDEQ.

CEDES. (01 de 02 de 2017). <https://cedes.gob.mx>. Recuperado el 05 de 04 de 2018, de <https://cedes.gob.mx>: <https://cedes.gob.mx/images/pdf/ProAireSonora.pdf>

DOF. (16 de Julio de 2012). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 30 de 06 de 2018, de Diario Oficial de la Federación: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5259464&fecha=16/07/2012](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5259464&fecha=16/07/2012)

DOF. (20 de Agosto de 2014). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014)

García-Alva, S., Muñoz-Zamora, G., Cruz-Rentería, J. R., & Nuñez-Silva, O. R. (31 de 03 de 2018). Desarrollo de ETL para limpieza y transformación de datos crudos de PM10 de la estación de monitoreo de calidad del aire de Nogales, Sonora. (M. P. RAMOS-ESCAMILLA, Ed.) *Revista de Tecnología e Innovación*, 5(14), 25-29. Recuperado el 12 de 06 de 2018, de [http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia\\_e\\_innovacion/vol5num14/Revista\\_de\\_Tecnologia\\_e\\_Innovacion\\_V5\\_N14.pdf](http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol5num14/Revista_de_Tecnologia_e_Innovacion_V5_N14.pdf)

INECC. (11 de abril de 2010). <http://sinaica.inecc.gob.mx/>. (S. N. Aire, Ed.) Recuperado el 25 de 06 de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3%20-%20Redes,%20Estaciones%20y%20Equipos%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

INECC. (11 de 04 de 2013). <http://sinaica.inecc.gob.mx/>. (S. N. Aire, Ed.) Recuperado el 01 de 06 de 2018, de <https://www.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/4%20-%20Operaci%C3%B3n%20de%20Estaciones%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire,%20mantenimiento%20y%20calibraci%C3%B3n%20de%20sus%20Componentes.pdf>

INECC. (12 de 04 de 2015). (<https://www.gob.mx/>, Ed.) Recuperado el 22 de 05 de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/6%20-%20Lineamientos%20T%C3%A9cnicos%20y%20Administrativos%20para%20la%20Auditor%C3%ADa%20de%20Sistemas%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20de%20la%20Aire.pdf>

LT Consoulting. (2016). *Desarrollo del ProAire. Avances del diagnóstico y medidas y acciones* (págs. 3-5). Nogales Sonora: ProAire.

OMS. (27 de 09 de 2016). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: <https://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=aqibasics.particle>

SIIES. (20 de 5 de 2016). <http://www.estadisticasonora.gob.mx/>. (S. d. Sonora, Editor, & G. d. Sonora, Productor) Recuperado el 30 de 06 de 2018, de <http://www.estadisticasonora.gob.mx/>: <http://www.estadisticasonora.gob.mx/indicadores.aspx>

SINAICA. (19 de 10 de 2016). <http://sinaica.inecc.gob.mx/>. Recuperado el 30 de 06 de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>: <http://sinaica.inecc.gob.mx/>

TFS. (01 de 03 de 2009). *Thermo Fisher Scientific*. Recuperado el 30 de 03 de 2018, de Thermo Fisher: <http://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-Model5014i-Manual.pdf>

US EPA. (2008). *Data validation and Data Verification*. En US-EPA, *Guidance on Environmental* (pág. 99). US-EPA.