

# Asignación sobre la calibración de un sensor

**Damian Steven Ospina** \*  
**Robert Orcasitas García** \*\*  
**María Fernanda Estupiñan Aguilar** \*\*\*  
*Universidad Industrial de Santander*  
*Calle - 9 Cra. 27, Bucaramanga, Santander*

2 de abril de 2024

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Métrica . . . . .	2
<b>2. Metodología</b>	<b>3</b>
2.1. Función Lineal . . . . .	3
2.2. Media Móvil . . . . .	6
<b>3. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>8</b>
<b>4. Referencias</b>	<b>9</b>

## Resumen

resumen

---

\*email:damian2201296@correo.uis.edu.co  
\*\*email:robert2210726@correo.uis.edu.co  
\*\*\*email:maria2210727@correo.uis.edu.co

## 1. Introducción

Un sensor es un dispositivo que detecta o mide cambios en el entorno físico y convierte estos cambios en señales eléctricas o señales que después pueden ser interpretadas. Estos pueden medir una variedad de variables físicas, como la temperatura, la presión, la intensidad luminica, la humedad en el ambiente, el movimiento, entre otras.

En este caso se trabaja con un sensor de partículas. Estos sensores son utilizados para medir la concentración de partículas suspendidas en el aire, Gran parte de estos sensores funcionan midiendo la cantidad de partículas que pasan a través de un área específica en un cierto período de tiempo. Estos sensores pueden utilizar diferentes métodos de detección, como la dispersión de luz, la captura de partículas en un sustrato, o la medición de la resistencia eléctrica de un material en presencia de partículas.

La calibración de un sensor implica relacionar los valores de la señal eléctrica generada por el sensor con la magnitud física que está siendo medida. En algunas ocasiones, pueden ocurrir alteraciones en el entorno que afecten la respuesta del sensor, lo que podría alterar o reducir su precisión. Es decir, debido a anomalías o al uso del sensor, es posible que su eficacia se vea comprometida y que las mediciones que proporciona no sean exactas. Por lo cual, en el conjunto de datos que se obtiene del sensor habrán algunos que no guarden alguna relación con la magnitud física que se quiere analizar. Una de las formas de saber si los datos del sensor son acertados es compararlos con otros resultados anteriores o con los resultados de un sensor que ya haya pasado por un proceso de calibración. Aquí es donde se introduce el concepto de métrica, pues surge la pregunta de cómo puedo relacionar un conjunto de datos.

La distancia matemática, también conocida como métrica, es una medida que cuantifica la diferencia o separación entre dos puntos en un espacio métrico y cumple con ciertas propiedades (Simetría y desigualdad triangular). Para el desarrollo de esta actividad se usó la noción de distancia euclidiana, la cual es una medida entre dos puntos de un espacio euclideo.

En un espacio euclidiano de cualquier número de dimensiones, la distancia entre dos puntos se calcula como la longitud del segmento de línea que une los dos puntos.

### 1.1. Métrica

La métrica permite comparar las lecturas del sensor con los valores de referencia conocidos o con mediciones realizadas por otros dispositivos. Durante el proceso de calibración del sensor, se pueden determinar medidas de distancia para optimizar los parámetros del modelo. Por ejemplo, es posible ajustar los parámetros del modelo de manera que minimicen la distancia entre las mediciones del sensor y los valores de referencia.

Para calcular la distancia entre los dos conjuntos de datos al exportarlos y después de cada calibración, se utiliza la noción de distancia euclidiana. En dos dimensiones, la distancia entre las

lecturas está dada por:

$$D(\mathbb{Q}, \hat{\mathbb{Q}}) = \sqrt{\sum_i (\mathbb{Q}_i - \hat{\mathbb{Q}}_i)^2} \quad (1)$$

Donde  $\mathbb{Q}$  representan los datos tomados como referencia ( $PM_{2,5} - REF$ ) y  $\hat{\mathbb{Q}}$  representan los datos del sensor ( $PM_{2,5} - SEN$ ). Es a través de esta noción de métrica que se calcula la distancia relativa entre los dos conjuntos de datos y se realiza una calibración de los datos del sensor de bajo costo para minimizar lo posible la distancia entre los del sensor y los de referencia.

## 2. Metodología

### 2.1. Función Lineal

Para la realización del código, se utilizó Jupyter Notebook dado que permite comparar paso a paso cómo afectan los cambios en el código a los resultados de calibración obtenidos sin la necesidad de ejecutar todo el código por completo. Esto es especialmente útil cuando busca una ventana adecuada para promediar los datos durante el uso de la media móvil y que se aproximen más a los de referencia.

Se utilizaron los datos de las estaciones de internet de las cosas, más específicamente, el archivo de los datos estacionales AMB que contiene las medidas de referencia de material particulado de  $\leq 2,5\mu m$  y las medidas de antenas de bajo costo. Estos datos fueron tomados desde el 3 de octubre de 2018 hasta el 31 de agosto de 2019. Así se presentaron los datos inicialmente:

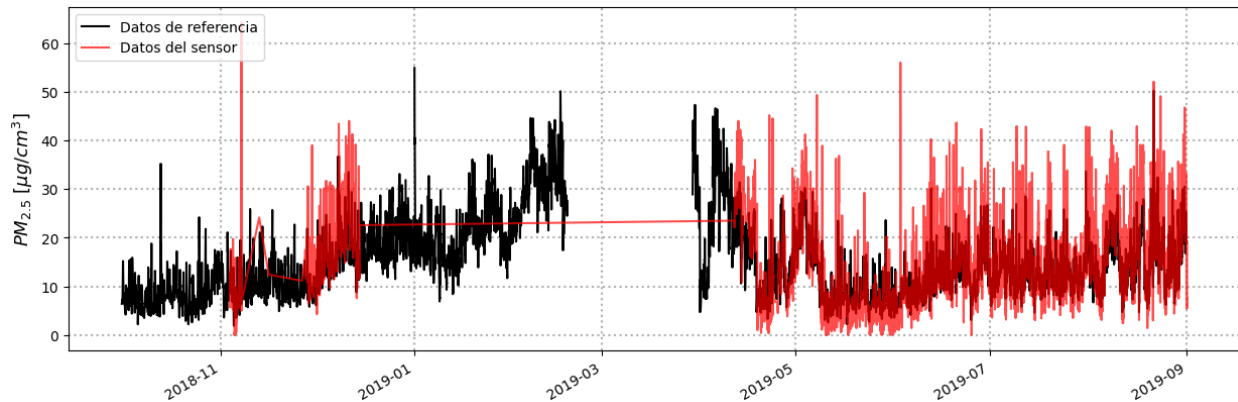


Figura 1: Datos Iniciales de  $PM_{2,5}$

Como se puede observar en la figura 2, los datos de los sensores de bajo costo presentan una discontinuidad por gran parte de los primeros meses en los que se recolectaron los datos de referencia.

Debido a la poca información útil que nos proporciona este periodo, se realiza un recorte de los datos a calibrar, tomando únicamente desde marzo de 2019 en adelante.

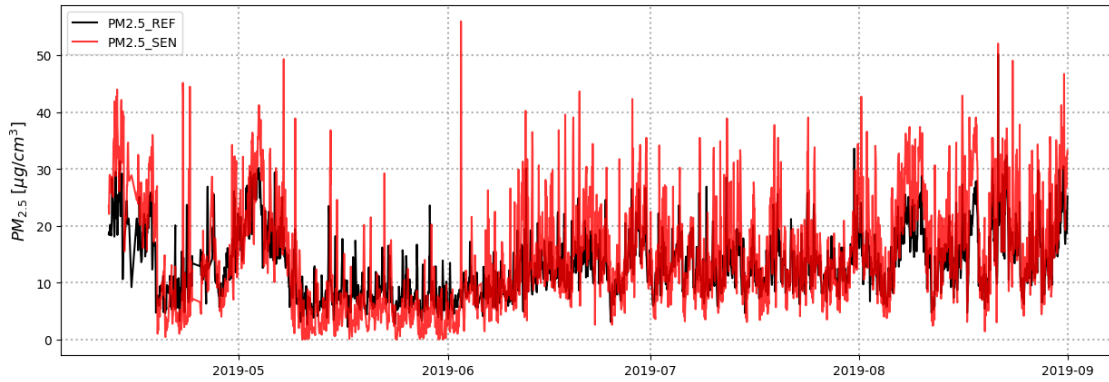


Figura 2: Datos Iniciales de  $PM_{2.5}$  Recortados

Como primera aproximación, se puede observar una buena correlación entre los datos de referencia y los del sensor a calibrar; sin embargo, ambas gráficas no coinciden por completo. Para nuestros fines, es necesario que los datos tomados con el sensor de bajo costo sean lo más parecidos posibles a los datos de referencia. Con este objetivo en mente, procedemos a hallar la distancia entre los datos usando una noción de distancia euclidiana entre las dos mediciones 1.

Una vez calculada la distancia, se procede a calcular la distancia relativa como  $D/N$  (donde  $N$  representa el número de lecturas). La distancia entre los dos conjuntos de datos corresponde, inicialmente, a un 12,929%. Buscando una forma de reducir la distancia relativa entre los conjuntos de datos, se acude a la calibración de los datos del sensor para que sean lo más próximos posible a los datos de mayor calidad. La calibración se puede ver como una función que recibe los datos del sensor y los opera para dar como resultado una respuesta cercana a la esperada, es decir:

$$C(\hat{\mathbb{Q}}) = \hat{y} \approx \mathbb{Q} \quad (2)$$

Para encontrar la función de calibración que relaciona los dos conjuntos de datos, se analizaron los mismos asignándoles distintos ejes, los datos del sensor como el eje  $x$  y los datos de referencia en el eje  $y$ , para luego proyectarlos sobre el subespacio de funciones lineales. Se escogió lineal dado que al analizarlos resulta ser una buena relación entre ellos.

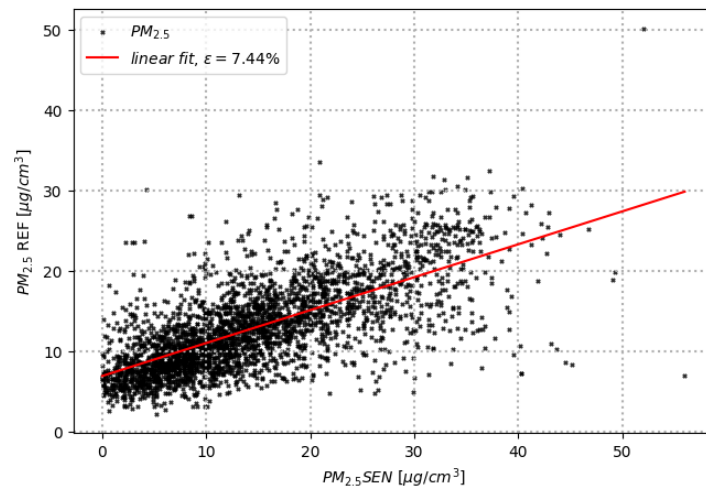


Figura 3: Modelo lineal de  $PM_{2,5} - SEN$  vs  $PM_{2,5} - REF$

Tras encontrar la función de calibración que mejor relaciona los conjuntos de datos, se obtuvo:

$$C(x) = 6,9 + 0,41x \quad (3)$$

La aplicación de esta función a los datos del sensor resultó en un comportamiento mucho más cercano a los datos de referencia. La distancia relativa entre los datos calibrados y los de referencia se redujo significativamente, alcanzando un 7,44 %.

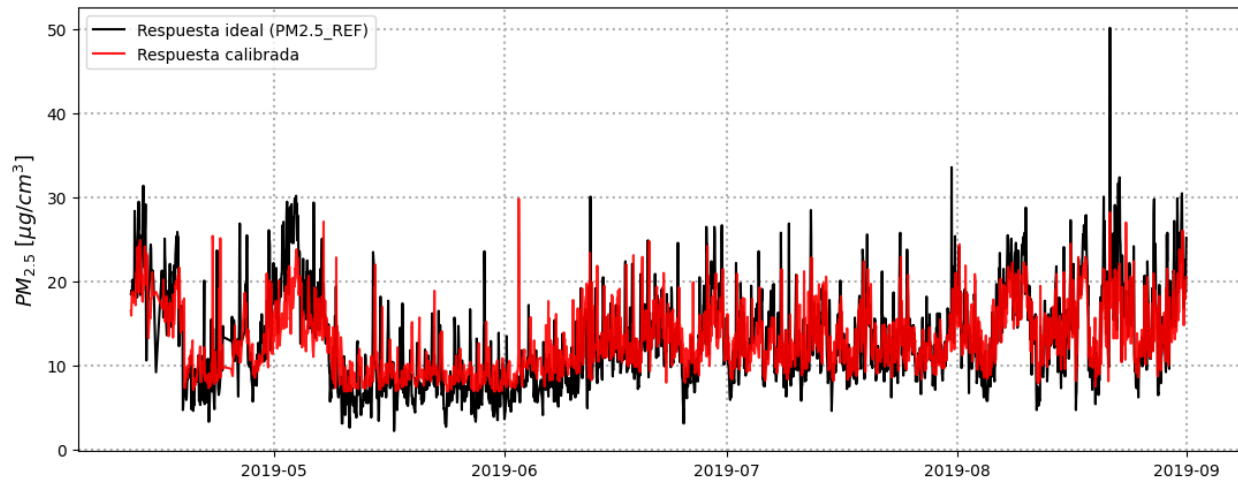


Figura 4: Primera Calibración

## 2.2. Media Móvil

La media móvil es una técnica estadística que se utiliza para suavizar una serie de datos al calcular el promedio de un conjunto de puntos adyacentes en la serie. Durante la calibración del sensor, resulta especialmente útil dado que reduce el ruido o las variaciones aleatorias en los datos del sensor, como los picos en algunos de los datos presentados en la figura 1. Esto nos ayuda a que los datos del sensor se ajusten mejor a los de referencia.

Al aplicar la media móvil, se definió un intervalo de datos y se promediaron esos intervalos (los cuales pueden tener solapamientos) con el fin de obtener la tendencia de los mismos en cada intervalo.

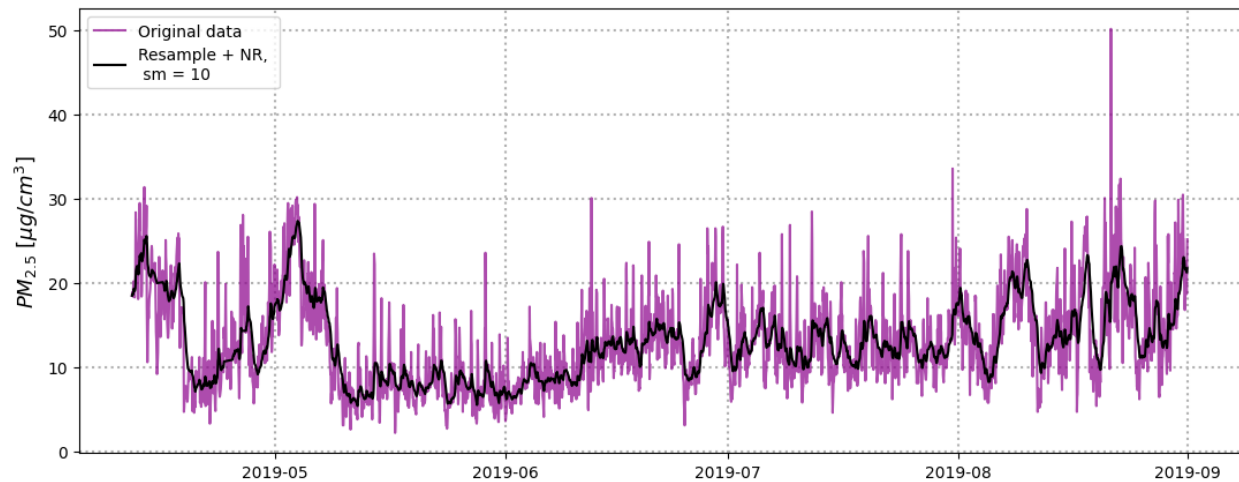


Figura 5: Datos de Referencia y su Tendencia

En la gráfica se pueden observar los datos de referencia suavizados y promediados con un factor de sensibilidad de la variación del suavizado de dichos datos con un valor de 10.

El uso de la media móvil en la calibración de un sensor es útil para estabilizar y suavizar la señal medida, lo que puede ayudar a reducir el ruido y mejorar la precisión y la sensibilidad del sensor. Ahora, con los datos de referencia suavizados, realizamos una segunda calibración a los datos de nuestro sensor.

Definimos un intervalo de entrenamiento de los primeros 71 días para los datos después de haberlos suavizado, con el fin de ajustar el modelo lineal a la primera parte de los datos y luego utilizarlo para predecir la otra mitad.

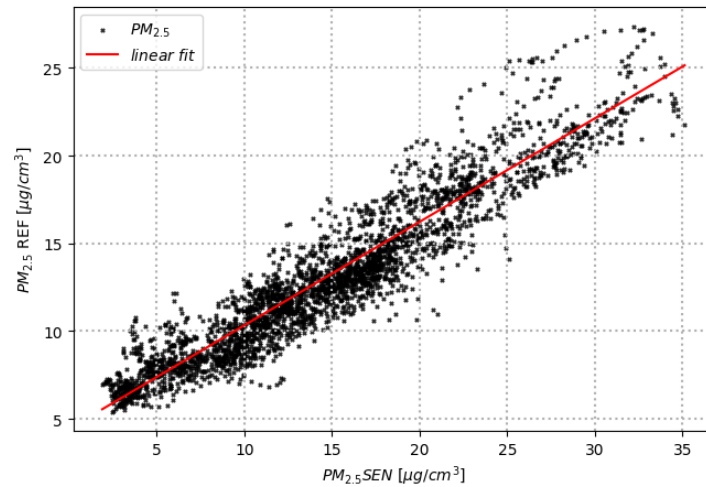


Figura 6: Función Lineal Usando los Datos Suavizados

Al realizar una segunda relación entre los datos tras haberlos suavizado, podemos observar que estos se condensaron aún más alrededor de una función lineal. En este punto, se logró realizar una segunda disminución de la distancia relativa entre los datos de referencia y los del sensor, alcanzando un 4.21 %.

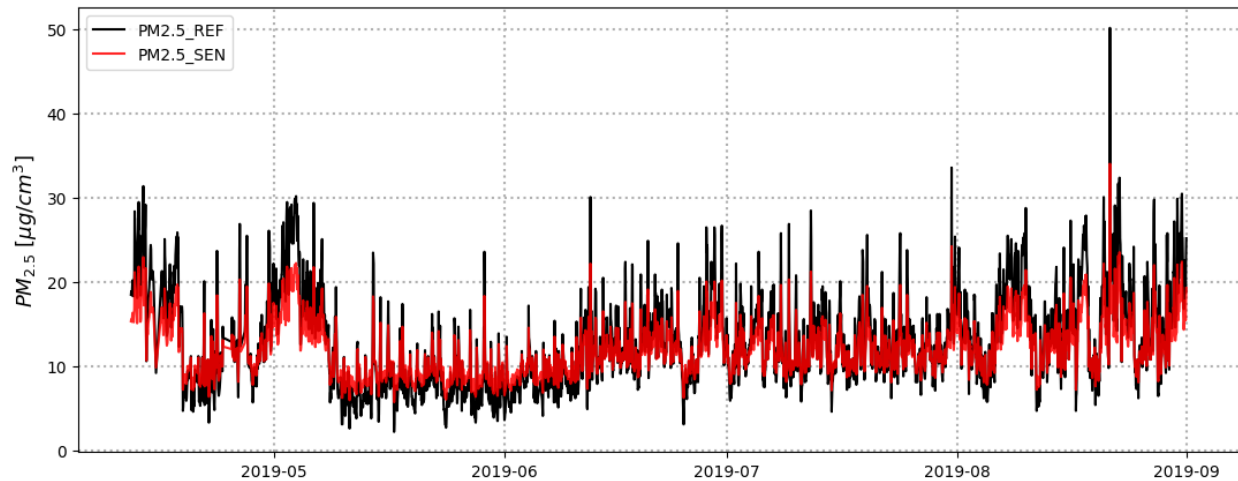


Figura 7: Segunda Calibración

Por último, al aplicar un segundo ajuste lineal a los datos del sensor a partir de los datos suavizados de referencia y del mismo sensor obtenemos unos valores mucho más próximos a los valores de referencia.

### 3. Conclusiones y Recomendaciones

- Primero que cuantificar el error de medición de un sensor y hallar una correspondiente calibración, supone el uso del concepto de métrica en espacios vectoriales, el cual en este contexto toma un sentido distinto al usual de distancia pero igual de relevante por su aplicabilidad.
- Al momento de suavisar los datos usando la media móvil, la distancia euclidiana es fundamental para calcular la ventana que mejor aproxima los datos.



## 4. Referencias

### Referencias

- [1] HERNÁNDEZ, H. Y NUÑES, L., *Matematicas avanzadas de los espacios lineales al análisis vectorial, con aplicaiones en Maxima*, Colombia 2021.