

MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO Y DESARROLLO DE INSTRUMENTAL, CASO DE ESTUDIO CIUDAD DE CONCORDIA, ER.

CHURY, MARIO R. H.¹; SOTA, JORGE D.²; WENDLER, DARÍO M.³

1,2 y 3: Grupo GIICMA
UTN – Regional Concordia
Salta 277 - E3200EKE

e-mail: mrhchury@frcon.utn.edu.ar; jdsota@gmail.com; dariomartinw@gmail.com

Resumen. *Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la alta carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma, producto de la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud en todo el mundo. Para su control se han establecido parámetros de concentraciones máximas de material particulado en el aire, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. La monitorización continua del material particulado (PM) es una herramienta útil que permite identificar a los generadores de dicha contaminación permitiendo realizar acciones correctivas para reducir su valor. Este trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos, donde se ubicaron equipos registradores de material particulado, diseñados en nuestro laboratorio e instalados en lugares con distintas posibilidades de contaminación a fin de conocer los valores y distribución de los contaminantes presentes. Los resultados obtenidos indican que, si bien el tipo de zona controlada incide en los contenidos, estos pueden ser ajustados con variables fáciles de implementar en poco tiempo y a costos razonables.*

Palabras clave: Contaminación del aire. Material particulado. Monitorización continua

1. INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental en el mundo, en cuanto a contaminación atmosférica refiere, se ha extendido en este último tiempo, preocupando a investigadores de diversas ramas relacionadas en la búsqueda de soluciones.

La OMS considera riesgosas las altas concentraciones de PM₁₀, que son partículas de tamaño menor a los diez micrómetros (10 µm), por ello ha establecido valores internacionales límites de medias de concentraciones anuales y diarias en 20 µg /m³ y 50 µg/m³ respectivamente, para que sean tomados como referencia [1]. Estas partículas pueden provenir de distintas fuentes, como por ejemplo la combustión automotriz, algunas industrias y el levantamiento de polvo en calles no pavimentadas debido al pasaje de vehículos.

Una de las formas de determinar estas concentraciones es mediante la medición de la calidad del aire con equipos que registran la cantidad de partículas de este tamaño por unidad de volumen. La medición de concentración de PM₁₀ proveniente de un único sitio de monitoreo, no puede ser precisamente representativa de la concentración de las partículas distribuidas en sus alrededores. Para obtener concentraciones precisas con una resolución de calidad aceptable, es necesaria una alta densidad de sitios de medición, y el costo asociado con instrumentos convencionales es impráctico [2][3]. A causa de este condicionamiento y que los

costos de adquisición de estos sistemas son onerosos para los presupuestos disponibles en el ámbito de la universidad o del grupo de investigación, el diseño y desarrollo del mismo resulta una alternativa más atractiva y alcanzable para esta investigación, por lo que se siguió dicho camino. Además, se pretende generar un conocimiento propio en el desarrollo de equipos para esta línea de investigación.

En base a ello, se han realizado mediciones en distintos puntos de la Ciudad de Concordia, en la Ciudad de Los Charrúas que pertenece al departamento Concordia y en zonas rurales ubicadas a ciertas distancias de esta última, con el fin de comparar la variación de concentraciones. Ambas localidades pertenecen a la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

En definitiva, el propósito del presente trabajo es mostrar las mediciones de calidad del aire que se realizaron en diferentes puntos, con el fin de estudiar si estos puntos cumplen con los límites internacionales establecidos.

2. METODOLOGIA

2.1. Desarrollo del equipo

Para llevar a cabo este estudio, se desarrolló un equipo que consiste en un sensor de la firma SHARP, modelo GP2Y1010AU0F [4], que trabaja por el principio de reflexión de la luz, el cual es también utilizado en muchos equipos sofisticados (Figura 1). El fotodiodo emite un haz de luz en el interior de la cavidad de medición, y un fototransistor captura la luz reflejada. Cuando las partículas entran en la cavidad de medición y dispersa la luz reflejada, el voltaje sobre el fototransistor cambia porque la luz es bloqueada por la partícula. En la (Figura 2) se puede apreciar la respuesta de salida en voltaje en función de la densidad de polvo presente para este sensor.

La operación de este sensor requiere pulsos de entrada para la excitación del fotodiodo y la detección de la respuesta del fototransistor a intervalos regulares. Por lo tanto, es necesario conectar el sensor a un microcontrolador para llevar a cabo esta tarea (Figura 3). Para realizar la lectura y captura de los datos del sensor de una manera sencilla, se utilizó una plataforma Arduino Uno. Esta está basada en un microcontrolador ATmega328P que tiene 14 pines de entrada/ salida, 6 entradas análogas, un cristal de 16MHz y una conexión USB. El programa de medición habilita apropiadamente el uso del sensor y envía cada 5 minutos vía USB los datos a un terminal propio de esta plataforma, que luego pueden descargarse a un archivo Excel. En la (Figura 4) se puede observar el prototipo desarrollado.



Figura 1. Sensor SHARP GP2Y1010AU0F.

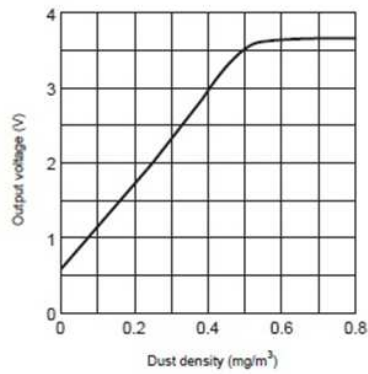


Figura 2. Curva de respuesta del sensor.

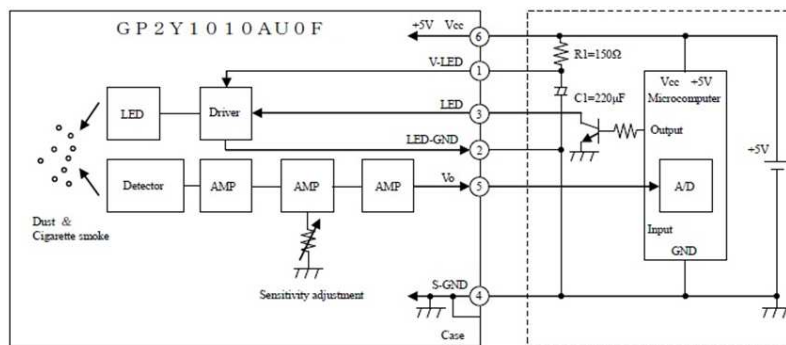


Figura 3. Diagrama esquemático de conexión del sensor a un microcontrolador.



Figura 4. Prototipo desarrollado.

2.2. Mediciones en la ciudad de Concordia

Los esfuerzos se concentraron en medir en dos puntos distanciados aproximadamente unos 200 m en línea recta, ambos emplazados dentro de la planta urbana de la ciudad durante 24 horas. Los dos puntos de medición cuentan con el mismo grado de urbanización, pudiéndose tomar igual la rugosidad del terreno de la zona circundante a ambos puntos, siendo la misma de magnitud media. A continuación, se muestra una imagen satelital del sitio (Figura 5).



Figura 5. Imagen satelital de los puntos de medición en la ciudad de Concordia.

Descripción de los puntos de medición:

- Punto 1: este punto de medición tiene como características principales la cercanía de una calle de tierra con un volumen de tránsito medio. Se puede decir, que el material de conformación de la calzada alienta la producción de polvo, o sea, de material particulado, mientras que el volumen de tránsito aporta en forma moderada a dicha producción. Respecto a la topografía, se la puede considerar llana con un nivel medio de rugosidad dado por las edificaciones presentes.
- Punto 2: la medición en este punto se vio afectada, principalmente, por las características del pavimento circundante y del volumen de tránsito que por él circula. La calzada del pavimento es de hormigón asfáltico, lo cual no produce levantamiento de polvo, y el volumen de tránsito es alto, lo que colabora en forma considerable con la emisión de material particulado a la atmósfera. La topografía se puede considerar idéntica a la del Punto 1.

Como la cantidad de horas de medición son iguales, la cantidad de registros también lo serán. Luego, se compararán los promedios, para estos tiempos de medición, entre ambos puntos.

2.3. Mediciones en la Ciudad de Los Charrúas y zonas rurales próximas.

Estas mediciones se realizaron en tres puntos, uno dentro de la planta urbana del pueblo y dos ubicados a unos cinco (5) y diez (10) kilómetros del mismo, los cuales no cuentan con ningún grado de urbanización. Esto lo muestra la (Figura 6).



Figura 6. – Imagen satelital de los puntos de medición en la ciudad de Los Charrúas.

Descripción de los puntos de medición:

- Punto 1 - Planta Urbana de Los Charrúas: en ella se encuentran diversas industrias productoras de PM_{10} , siendo las más representativas de las emisiones las instalaciones de dos molinos arroceros, los cuales trabajan, en su producción de arroz, durante todo el año en manera continua, emitiendo estos contaminantes de manera permanente a la atmosfera que circunda el pueblo. También, una parte de las emisiones provienen del parque automotor del pueblo, pero en menor proporción que las fuentes mencionadas anteriormente. La altura promedio de las edificaciones no sobrepasan los ocho (8) metros, dando un tipo de rugosidad media al terreno. Esto influirá en el perfil de velocidades del viento, teniendo impacto directo sobre las concentraciones de contaminantes medidas.
- Punto 2 - Zona rural a 5 km de la planta urbana: al ser una zona rural, el aspecto más relevante a mencionar es el follaje, ya que es un factor que influye directamente sobre la posibilidad de que se generen corrientes de aire que arrastren contaminantes. En particular, este punto de medición cuenta con muy poca vegetación de altura, por lo que se observaron suficientes corrientes de aire

durante la medición. Para ser más precisos en la descripción, el punto de medición se encontraba a campo prácticamente abierto, con la existencia de algunos árboles cuya densidad era propicia para la medición.

- Punto 3 - Zona rural a 10 km de la planta urbana: en este punto de medición se encuentra una gran cantidad de cortinas de árboles alrededor, de diversas especies, evitando la entrada continua de flujo de aire al punto, no colaborando de manera efectiva al transporte de contaminantes.

Las mediciones en los puntos 1 y 2 realizados en Concordia y en los puntos 1 y 3 en Los Charrúas, fueron más extensas debido a que se contó con un lugar físico apropiado para resguardar el equipo de medición y el ordenador durante ese lapso de tiempo.

Sin embargo, para presentar datos comparables, es que se opta por cotejar los promedios horarios de cada una de las mediciones a la hora que se ha realizado la medición en el punto 2 en Los Charrúas, denominada hora de referencia. Esta hora fue desde 11:35 AM a 12:35 PM. Se calculará su promedio aritmético y se hará lo mismo en los restantes puntos de medición para ambas ciudades. Además, se presentarán los promedios para 24 hs para todos los puntos, y se compararán con el promedio de la hora de referencia.

La justificación de la elección de esta hora, radica en uno de los factores más importantes que hacen a la estabilidad atmosférica: la radiación solar. Si la misma es alta, entonces habrá mayor inestabilidad atmosférica, favoreciendo el transporte de contaminantes. Cabe mencionar que la estabilidad atmosférica es, en forma resumida, el grado de dispersión y turbulencia de la masa de aire. Consecuentemente, se consideró que este rango horario se correspondía estadísticamente con el mayor nivel de radiación que recibe la atmosfera durante el día.

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los promedios de las mediciones para 24 hs y para la hora de referencia en forma separada por ciudad, para proporcionar una visión clara de la situación en cada una de ellas.

Ciudad de Concordia:

- Punto 1: Promedio para la hora tomada de referencia: 55,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Promedio para 24 hs: 50,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Punto 2: Promedio para la hora tomada de referencia: 82,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Promedio para 24 hs: 86,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ciudad de Los Charrúas:

- Punto 1: Promedio para la hora tomada de referencia: 60,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Promedio para 24 hs: 58,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Punto 2: Promedio para la hora tomada de referencia: 46,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Punto 3: Promedio para la hora tomada de referencia: Por debajo del límite de detección del equipo. Promedio para 24 hs: Por debajo del límite de detección del equipo.

La variación de las concentraciones medidas se pueden observar desde la (Figura 7) a la (Figura 10).

Concentracion de PM10 para el Punto 1 - 24 hs - Promedio: 50,83 (µg/m3)

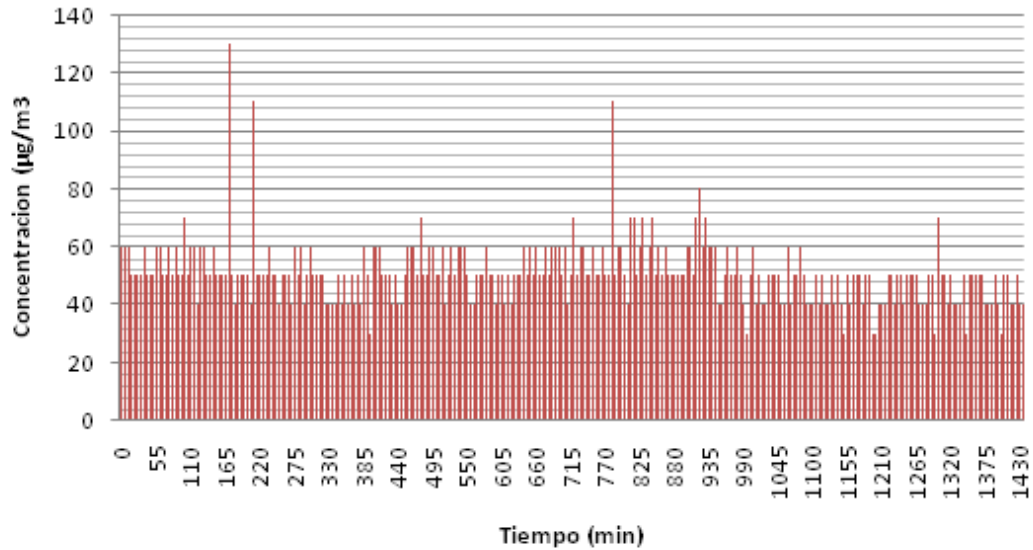


Figura 7. Evolución de la concentración del PM₁₀ para el punto 1 en la ciudad de Concordia.

Concentracion de PM10 para el Punto 2 - 24 hs - Promedio: 86,57 (µg/m3)

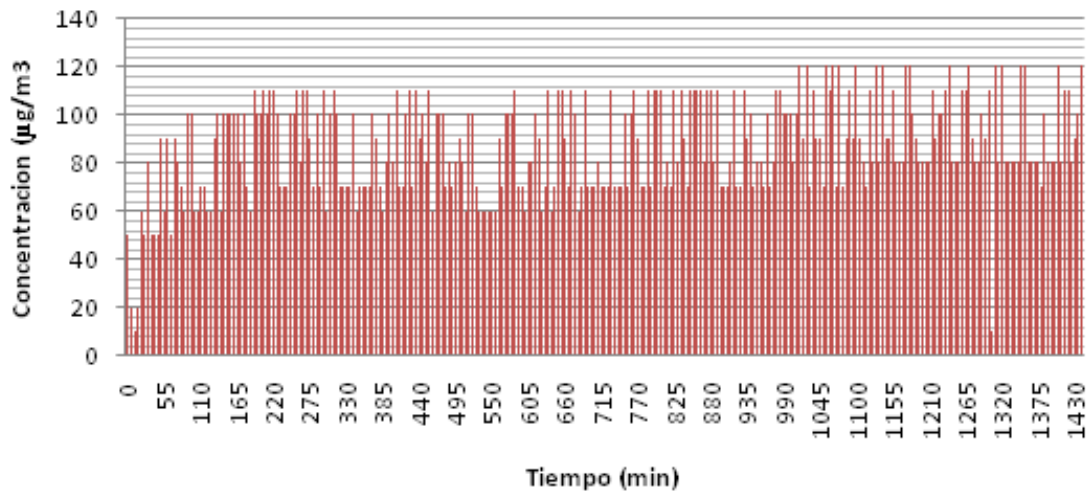


Figura 8. Evolución de la concentración del PM₁₀ para el punto 2 en la ciudad de Concordia.

Concentracion de PM10 para el Punto 1 - 24 hs Promedio: 58,90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

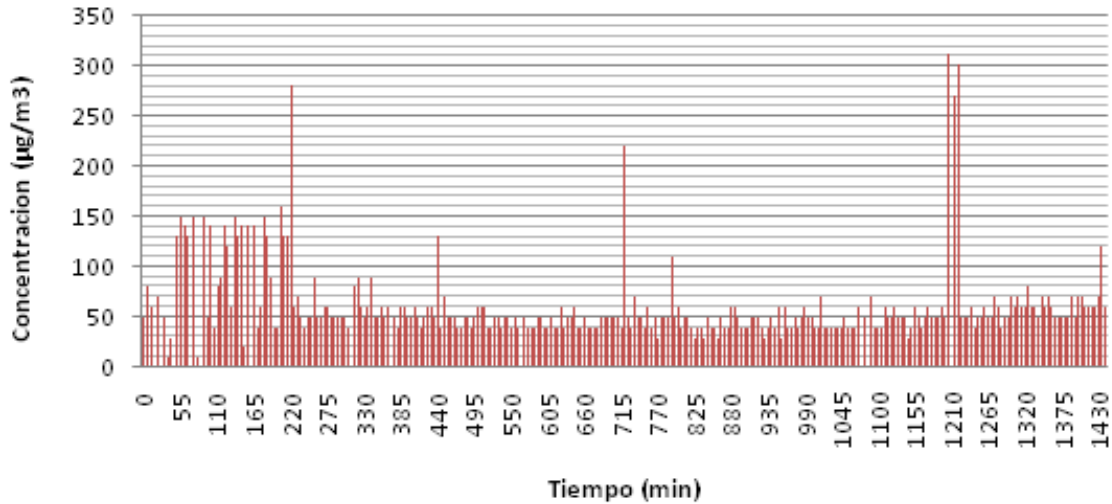


Figura 9. Evolución de la concentracion del PM₁₀ para el punto 1 en la ciudad de Los Charruas.

Concentracion de PM10 - 1 hs - Promedio: 46,15($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

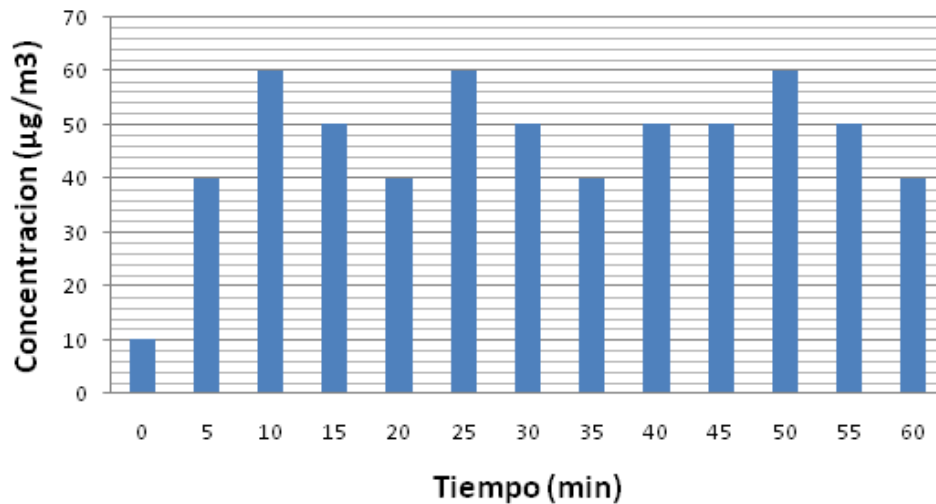


Figura 10. Evolución de la concentracion del PM₁₀ del punto 2 para la hora de referencia en la ciudad de Los Charruas.

Los resultados de las mediciones efectuadas se vuelcan en la (Tabla 1).

| Ciudad | Punto | Concentraciones promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|-------------------|-------|---|------------------------------------|
| | | Hora de referencia | 24 hs |
| Concordia | 1 | 55,38 | 50,83 |
| | 2 | 82,31 | 86,57 |
| Los Charrúas | 1 | 60,00 | 58,90 |
| | 2 | 46,15 | - |
| | 3 | Por debajo del límite de detección | Por debajo del límite de detección |
| Límites de la OMS | | - | 50 |

Tabla 1. Resumen de las mediciones realizadas.

Los datos promedios de las variables meteorológicas influyentes en la estabilidad atmosférica, medidas según las posibilidades, se muestran en la (Tabla 2) para ambas localidades.

| Ciudad | Punto | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | Humedad (%) | Velocidad del viento (Km/h) | Dirección del viento predominante |
|--------------|-------|------------------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Concordia | 1 | 19,56 | 84,08 | 4,83 | SW |
| | 2 | 13,18 | 64,33 | 11,12 | WNW |
| Los Charrúas | 1 | 25,36 | 59,70 | 10,83 | N |
| | 2 | 22,72 | 49,50 | 7,77 | NE |
| | 3 | 22,90 | 71,86 | 7,45 | NNE |

Tabla 2. Variables meteorológicas medidas.

4. CONSIDERACIONES FINALES

- Las concentraciones promedio en la ciudad de Concordia, tanto para la hora de referencia como para las 24 hs de medición, presentan grandes diferencias entre sí. El punto 2 es en el que se observan los mayores valores, los cuales se pueden adjudicar a su mayor caudal de tránsito y a la mayor velocidad de viento promedio respecto al punto 1. Esta última arrastra contaminantes provenientes de otras fuentes de emisión que se encuentren en correspondencia con su dirección promedio. Otro factor importante es el menor porcentaje de humedad que se presentó en el día de medición del punto 2, lo que no permite la aglomeración de las partículas en tamaños mayores a los $10\ \mu\text{m}$, por lo cual se registra un mayor número de PM_{10} .
- Como puede observarse, para la ciudad de Los Charrúas, la concentración promedio para la hora de referencia, decae a medida que la medición se hace distante del Punto

- 1, que es el que mayor proporción de PM_{10} recibe por parte de las actividades económicas generadoras.
- En base a lo anterior, se puede inferir que la concentración promedio para 24 hs, tendrá el mismo comportamiento.
 - Los datos meteorológicos medidos no presentan dispersiones considerables, excepto la humedad del Punto 3. Sin embargo, este dato no es el principal causante de las mediciones nulas en dicho punto, las cuales si se pueden atribuir a la gran cantidad de cortinas de árboles que lo rodeaban y que provocaban un efecto reparo para las corrientes de aire.
 - Los valores de referencia dados por la OMS indican que ninguno de los valores medidos en los puntos, para el lapso de 24 hs, cumple con ellos. En base a esto, se deberán evaluar las medidas de mitigación necesarias para reducir los valores promedios y así asegurar la calidad del aire que se respira en dichos puntos.
 - El equipo de medición desarrollado ha mostrado un funcionamiento óptimo. Se lo usará para realizar futuras mediciones con el fin de establecer un panorama más abarcativo de las zonas de estudio, para luego poder tomar algún tipo de decisión si así se requiriera.
 - En base a lo anterior, se establecerá un plan de acción para la instalación de una red de sensores en distintos puntos de la Ciudad de Concordia para realizar mediciones simultaneas por un tiempo prolongado, las cuales se realizarán en días de meteorologías distintas, para obtener así una correlación entre las variables meteorológicas y las variables referidas a las fuentes de emisión, y el comportamiento de la variación de la concentración. Esto permitirá, luego de un tratamiento estadístico, obtener curvas que aproximen el nivel de concentración en base a las variables de entradas mencionadas.

REFERENCIAS

- [1] OMS. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- [2] Wang Y., Li H., Zhang Q., Jingkun J., Pratim B., “Laboratory Evaluation and calibration of three low-cost particle sensor for particulate matter measurement”, *Aerosol Science and Technology*. Vol. 49, pp. 1063-1077, (2015).
- [3] Tasic V., Jovasevic M., Topalovic D., Davidovic M., “Measurement of $PM_{2.5}$ Concentrations in Indoor Air Using Low-Cost Sensors and Arduino Platforms”, *Sixth Scientific Meeting EuNetAir Proceedings of papers*, 05-07.10.2016. Academy of Sciences, Prague, Czech Republic, 10.5162/6EuNetAir2016/18.
- [4] SHARP. Application note of sharp dust sensor GP2Y1010AU0F. Recuperado de http://www.sharp-world.com/products/device-china/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf