

EVALUACION DEL DESMPEÑO DE PLATAFORMAS PORTABLES DE BAJO COSTO EN AMBIENTES CREADOS

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF LOW COST-PORTABLE PLATFORMS IN CREATED ENVIRONMENTS

Erik Hernández Rodríguez, Guillermo Ámbar Pérez, Alain Martínez Laguardia

Universidad Central de Las Villas, Cuba, ehrodriguez@uclv.cu, amguardia@uclv.edu.cu, gambar@uclv.cu 52720

RESUMEN

La utilización y empleo de sistemas de análisis de gases de bajo costo asociados a determinar la composición y calidad del aire es uno de los puntos clave a tratar por la ciencia en nuestra actualidad. Disímiles aplicaciones han sido diseñadas con el objetivo de medir a ciencia cierta patrones y características presentes en la mezcla de aire. Estas unidades de bajo costo aumentan la posibilidad de monitoreo existente por parte de la población en temas relacionados como contaminación del aire. Sin embargo, algunas de las mediciones realizadas por este tipo de arquitectura no son lo suficientemente precisas a la hora de dar un diagnóstico exacto acerca de las variables encuestadas; por lo que su veracidad en ocasiones es cuestionable. En la presente investigación se utiliza como referencia un analizador de gases profesional como patrón de comparación para los datos obtenidos por el analizador de gases que se propondrá. En la adquisición de los datos es necesario tener en cuenta varios factores entre ellos se mencionan como imprescindibles el estado meteorológico, así como la composición atmosférica de la región o zona investigada. La calidad de la medición es un tema vital a la hora de tomar decisiones pues las mismas pueden ser destinadas a un fin científico o simplemente con el objetivo de sensibilizar a la población.

Palabras Clave:

ABSTRACT

The use and use of prototypes (platforms) of low cost associated with determining the composition and quality of the air is one of the key points to be addressed by science today. Different applications have been designed with the objective of knowing

certain patterns and characteristics present in the air mixture. These low-cost units increase the possibility of existing monitoring by the population on issues related to air pollution. However, some of the measurements made by this type of architecture are not precise enough to give an exact diagnosis about the variables surveyed; so its veracity is sometimes questionable. In the present investigation, a professional gas analyzer is used as reference as a comparison pattern for the data obtained by the gas analyzer that will be proposed. In the acquisition of the data, it is necessary to take into account several factors, among them the meteorological status, as well as the atmospheric composition of the region or zone investigated. The quality of the measurement is a vital issue when making decisions because they can be used for a scientific purpose or simply to raise awareness among the population.

Keywords:

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Estado meteorológico y composición atmosférica.

Conocer la calidad del aire que respiramos es una variable ampliamente investigada por diversas instituciones y estaciones instaladas alrededor del planeta. Para llevar a cabo de manera precisa la medición de la misma es necesario conocer como punto de partida la ubicación geoespacial de la zona o región a analizar; debido a que la composición no es esencialmente homogénea por lo se hace necesario conocer sus particularidades (zonas costeras, países con climas variables).





Fig. 1 Nivel de partículas en suspensión (Pm-2,5 menos de 2,5 micras (μm) de diámetro) en el Caribe.

1.2 Efecto causado por la contaminación del aire sobre la salud humana.

Componentes presentes en el aire como son: dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), partículas en suspensión y compuestos orgánicos volátiles; así como los materiales derivados de estos por reacciones químicas, son causantes de numerosas enfermedades y variedad de padecimientos que ponen en riesgo la salud humana (Amable Álvarez et al., 2017).

Se ha demostrado por parte de numerosas entidades vinculadas al análisis de estos contaminantes que existe una relación directa entre el aumento de la ocurrencia de enfermedades respiratorias y cáncer de pulmón y la exposición directa a los gases; provenientes fundamentalmente de la combustión incompleta de motores alimentados por combustibles fósiles. Detectándose que las partículas en suspensión inciden con mayor fuerza en la composición de estos gases (Guo et al., 2016). Cabe mencionar que esto está en dependencia del grado de mayor o menor exposición a estos gases traduciéndose que una menor exhibición solo tiende a causar irritación, inflamación y reacciones alérgicas mientras que una exposición prolongada traería consigo en incremento a padecer de asma, inflamación de las vías respiratorias, así como de cáncer (Abdel-Shafy and Mansour, 2016).

1.3 Incidencias de la contaminación del aire sobre materiales, ecosistemas y cultivos.

Los materiales tal cual como los conocemos y empleamos en la vida diaria también se ven afectados por la incidencia de estos compuestos (sales y óxidos de azufre). Se ha comprobado que el aumento de la concentración de dióxido de azufre y de iones cloruro incrementa la velocidad de corrosión en materiales como son el cobre y el acero (Candelaria et al., 2015).

Con la acidez de los suelos producto de la interacción de estas sustancias se encuentra la pérdida de áreas boscosas que a su vez sirven de sustento a numerosos animales que ellos habitan. También existe un fuerte impacto en los ecosistemas subacuáticos donde la variación del pH hace que comiencen a desaparecer numerosas especies de peces al aumentar la acidez del agua (Giraldo and Ángel, 2004).

1.4 Valoración acerca de estaciones de monitoreo estáticas.

Tradicionalmente el monitoreo de la calidad del aire ha sido investigado con dos grandes propósitos Legislaciones de Vigilancia e investigación científica. La medición de las concentraciones de contaminación es monitoreada por instituciones altamente profesionales en esa esfera utilizando como herramienta las estaciones de monitoreo estáticas, equipadas con instrumentos de referencia certificados. Estas estaciones censan contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos nitrogenados (NO , NO_2), ozono (O_3), además de partículas en suspensión (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$). Estos analizadores de contaminación del aire poseen grandes dimensiones, pesos y precios que oscilan alrededor entre los 5000 euros y 30 000 euros. Por otra parte, estas estaciones fijas de monitoreo están sujetas a estrictas rutinas de mantenimiento y calibración de sus instrumentos para asegurar datos de alta calidad y que posteriormente patrones de comparación con otras estaciones de la región.

Existen grandes ciudades en desarrollo alrededor del mundo que cuentan con redes de estaciones de monitoreo que supervisan la calidad del aire en tiempo real. Sin embargo, su alto costo de instalación y mantenimiento hace que el monitoreo sea preciso, pero a su vez en pocos lugares. En países menos desarrollados las estaciones de monitoreo de calidad del aire (AQM) pueden no existir por lo que las estáticas se complementan a través de estaciones móviles de monitoreo de calidad del aire. Estas unidades generalmente también cuentan con las mismas prestaciones que las fijas por lo que su mantenimiento y calibración son parámetros a tener en cuenta esto trae consigo que no aumentan significativamente la densidad de muestreo espacial. Las estaciones se utilizan para mediciones estacionarias durante un período fijo de tiempo en ciertos lugares no cubiertos por la red de monitoreo fija (Castell et al., 2017).



2. MATERIALES Y METODOS. COMPARACION ENTRE (MEDIDOR DE GAS PROFESIONAL Y PLATAFORMA DE BAJO COSTO)

En este apartado son abordadas las principales características que componen tanto a los medidores de gases profesionales, como la plataforma de bajo costo desarrollada mediante esta investigación.

2.1 Analizador de gas profesional.

En el mercado actual están a la venta gran variedad productos asociados a la medición de la calidad del aire entre ellos se encuentran los analizadores de gases profesionales. Los mismos cuentan con capacidades de adaptación a disímiles medios de trabajo lo cual los hace muy eficientes y específicos. Muchos de los fabricantes de estas plataformas ofrecen su producto de muy buena calidad y soporte al usuario.

El kit de prueba de calidad del aire exterior (OUTDOOR AIR QUALITY TEST KIT) es utilizado por consultores y profesionales de la calidad del aire que desean un conjunto completo de herramientas para medir una amplia gama de contaminantes comunes en el aire exterior (Portátiles, 2017).

El kit de prueba de calidad del aire exterior (Pro) tiene como prestaciones un monitor portátil de la serie 500 de Aeroqual que se puede usar para medir una variedad de contaminantes simplemente intercambiando los cabezales de los sensores por el contaminante que desea monitorear. El kit incluye los siguientes sensores: sensor de partículas (PM2.5 / PM10), cuatro sensores de gases contaminantes de gas (NO₂, O₃, CO, VOC) y un sensor combinado de temperatura y humedad relativa.

2.2 Plataforma de bajo costo.

En la actualidad existen también numerosas alternativas viables a estos analizadores de gases profesionales. En el mercado se encuentran numerosos sensores y kits de desarrollo que permiten conformar aplicaciones con similar rendimiento y con la ventaja de tener un costo mucho menor. Estos dispositivos de bajo costo a pesar de la factibilidad de su uso poseen un inconveniente y es que el desarrollador debe hacer una plataforma totalmente operativa, además de realizar la calibración de los sensores de forma manual.

Muchas de estas arquitecturas de bajo costo además de proveer al usuario de sensores y módulos de acondicionamiento para los mismos; también brindan la posibilidad incorporar al diseño librerías y

ejemplos de software libre según la plataforma de computo seleccionada.

Se cuenta con una amplia gama de sensores que cubren el espectro requerido para implementar un analizador de gases con buenas prestaciones y diversidad estamos haciendo referencia a sensores para la medición de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), óxidos de azufre (SO₂) y de nitrógeno (NO₂), partículas en suspensión y compuestos orgánicos volátiles. Dichos sensores comparten numerosas características entre ellas se encuentran: tamaño reducido, bajo consumo energético y costos de adquisición que no superan los 50 USD por sensor. Poseen una interfaz de comunicación compatible con la mayoría de plataformas de computo empleadas, aunque cabe recalcar que muchos casos difieren.

2.2.2 Descripción detallada del analizador de gases de bajo costo.

Plataforma de cómputo: se selecciona la plataforma Arduino MEGA 2560 dada las potencialidades que la misma brinda; estamos hablando de un entorno libre de hardware y software, su precio ronda los 35 USD y en versiones un poco más limitadas los 20 USD. La placa Arduino MEGA 2560 cuenta con 54 pines de entrada/salida, digitales, así como de 16 pines de entrada analógicos y una resolución de 1024 bits en sus conversores análogos-digitales. Ofrece salida de modulación de ancho de pulso (PWM) por sus siglas en inglés a través de los pines digitales e incorpora interfaces digitales de comunicación como son I2C, serie y GPIO. Cuenta con librerías que permiten añadirle módulos de hardware para dotar al sistema de capacidades entre ellas comunicación inalámbrica, comunicación a redes de PC y almacenamiento externo.

A continuación, se presenta una tabla que muestra los sensores que componen esta pequeña plataforma para la medición de parámetros de la calidad del ambiente.

| Sensor | Parámetro | Características |
|----------------|--------------------------|------------------------------|
| AM2302 (DHT22) | Humedad | 0% -100% |
| | Temperatura | -40 °C a 80 °C |
| "iAQ-Core" | Calidad del aire | 400 y 2000 ppm |
| "WSP2110" | CO ₂ | 1 y 50 ppm |
| MQ-131 | Ozono | 50 ppb a 2 ppm |
| "GP2Y1010AU0F" | Partículas en suspensión | 0.65 V/ (µg/m ³) |
| EC4-20-SO2 | Dióxido de Azufre | 0 – 20 ppm |
| MiCS-5524 | Monóxido de Carbono | 1 – 1000ppm |



3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

Como patrón de referencia se recogen algunos datos obtenidos por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) en el año 2016, además de algunas publicaciones relacionadas con el tema de estudio en Cuba.

Registros históricos recogidos por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI).

| Meses | O ₃ . | NH ₃ . | Meses | O ₃ . | NH ₃ . |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <u>Enero</u> | 74.77 | 1.480 | <u>Julio</u> | 16.36 | 5.410 |
| <u>Febrero</u> | 67.76 | 2.770 | <u>Agosto</u> | 15.42 | 1.450 |
| <u>Marzo</u> | 74.77 | 1.540 | <u>Septiembre</u> | 19.63 | 3.910 |
| <u>Abril</u> | 18.69 | 1.640 | <u>Octubre</u> | 38.79 | 3.550 |
| <u>Mayo</u> | 8.88 | 1.230 | <u>Noviembre</u> | 55.14 | 2.850 |
| <u>Junio</u> | 11.68 | 1.320 | <u>Diciembre</u> | 49.07 | 1.690 |

Tabla No. 2 Concentraciones mensuales de fondo de O₃ y NH₃ (ppb) en Pinar del Río.

| Cuba/ Provincia | Estaciones | Temperatura | | Humedad |
|-----------------|----------------------|--------------|--------------|------------|
| | | Máxima media | Mínima media | Relativa % |
| Villa Clara | Santa Clara/ Yabú | 30,1 | 20,2 | 82 |

Tabla No. 3 Principales indicadores del clima.

3.1 Pruebas realizadas al sistema para validar su aplicación.

Una vez concluida la etapa de ensamblaje del sistema de análisis de gases y su correspondiente implementación de software, se procede a realizar las pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

3.1.1 Pruebas de hardware y software.

Se revisa el pinado del arduino para comprobar que la conexión de mismo con los sensores es la correcta y una vez energizado se comprueba que el consumo de corriente esta en consecuencia con los cálculos previos y no supera las capacidades del sistema. Para la comprobación del software se debe mencionar que está estrechamente vinculado al hardware y aprovechando su estructura modular, primeramente, se recogen datos individualmente de cada sensor y

posteriormente se comprueba de manera integral el sistema.

| Tareas | Lectura |
|--------------|---|
| AM2302 | temperatura : °C : 28.5 humedad_relativa : % : 77 |
| iAQ-Core | CO2_equivalente_i2c : ppm : 6453 VOC_equivalente_i2c : ppb : 1778 |
| WSP2110 | sensor_An_CO2_mikroe_ppm_co2 : ppm : 0.02 sensor_An_CO2_mikroe_voltaje : V : 0.26 |
| GP2Y1010AU0F | sensor_An_pm25_voltajesensor : V : 3.68 sensor_An_pm25_densidad_polvo : mg/m3 : 0.75 |
| MQ-131 | sensor_An_O3_voltaje_RL : V : 4.46 sensor_An_O3_ppb : ppb : 8.81 |

Tabla No. 4 Ejecución cíclica de cada tarea.

Para visualización y almacenamiento de las variables se hace empleo del “framework” Qt. Los datos adquiridos se grafican en tiempo real tras su validación, y se guardan en un archivo a forma de base de datos.

3.1.2 Propuesta del sistema de análisis de gases.



Figura 2. Analizador de gases con sensores de bajo costo.

La siguiente figura muestra la interacción del sistema durante un intervalo de tiempo con una fuente de calor donde aumenta su temperatura para después regresar a su estado inicial una vez alejada de la fuente de calor.



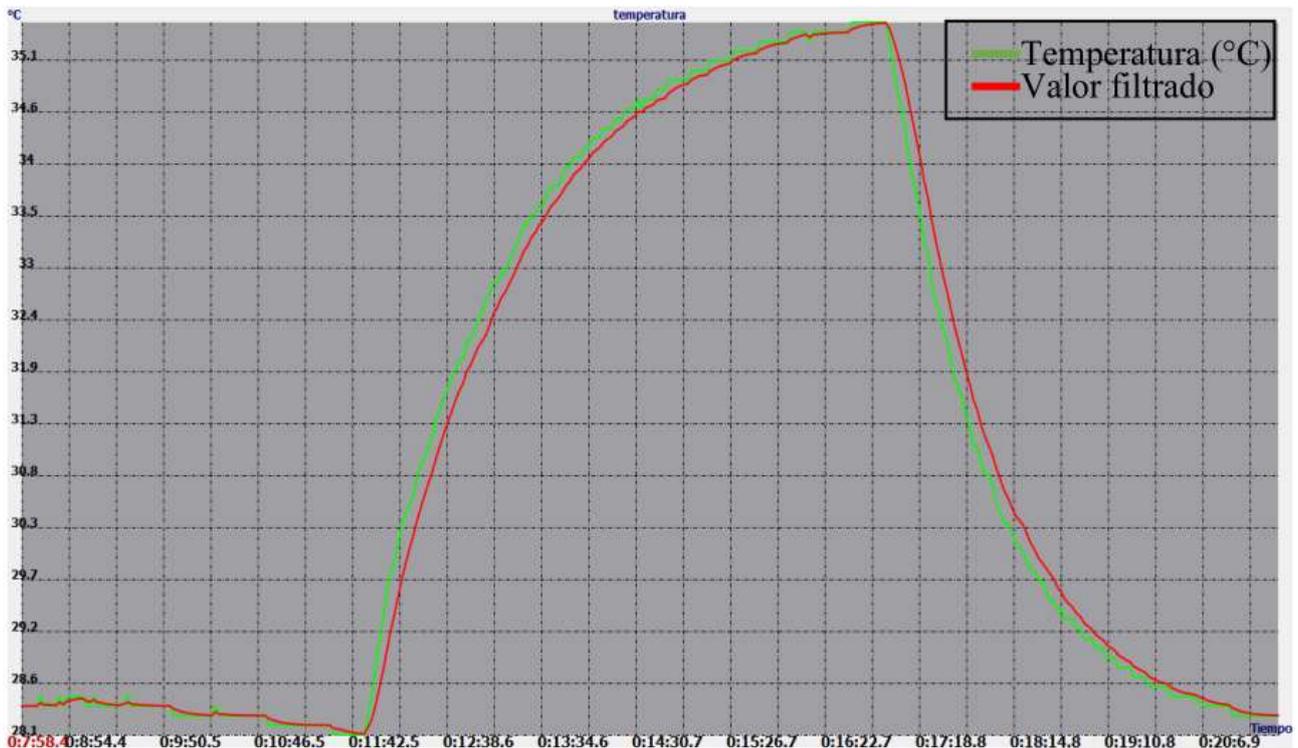


Figura 2. Detección de un cambio de temperatura (°C) en el tiempo (segundos).

Asociado a este aumento de la temperatura se refleja una disminución de la humedad relativa para después regresar a sus valores iniciales.

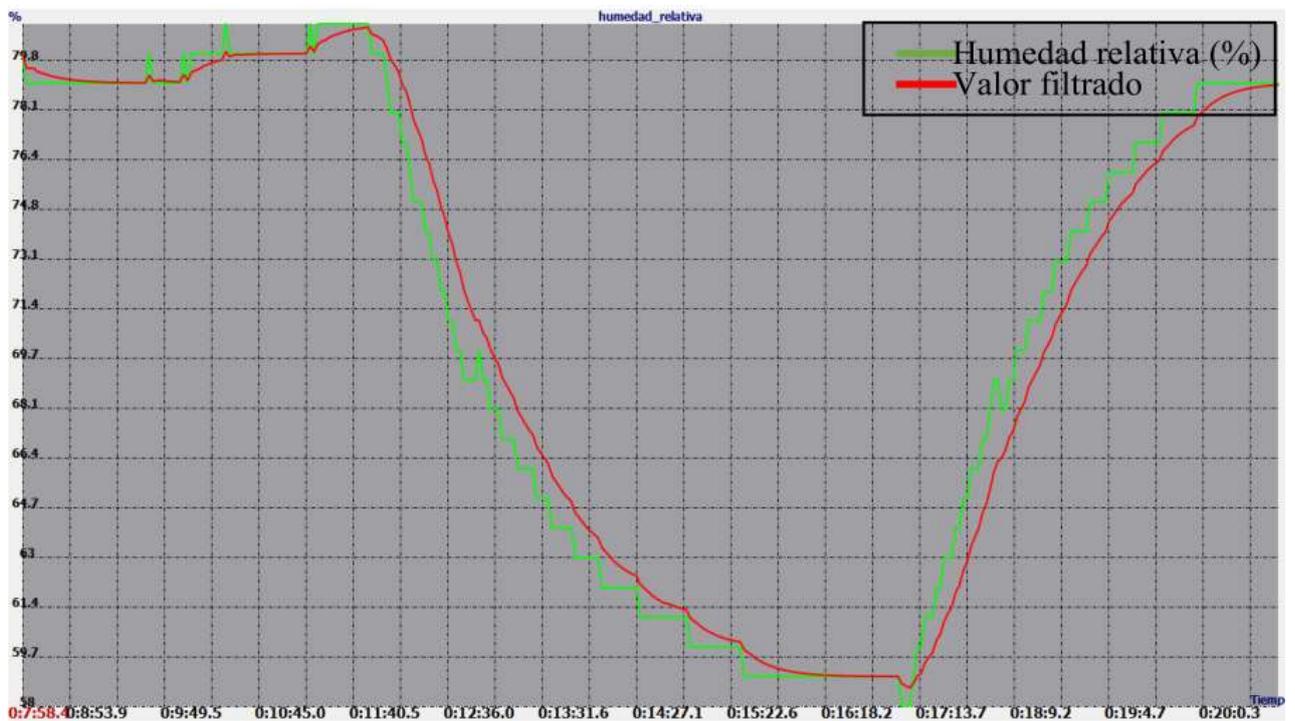


Figura 3. Detección de un cambio de humedad relativa en el aire.



Ante la presencia de un compuesto orgánico volátil se muestra la respuesta en la Figura 4. En la Figura 5 se puede observar la variación del voltaje del elemento sensor al detectar la presencia de dicho compuesto.

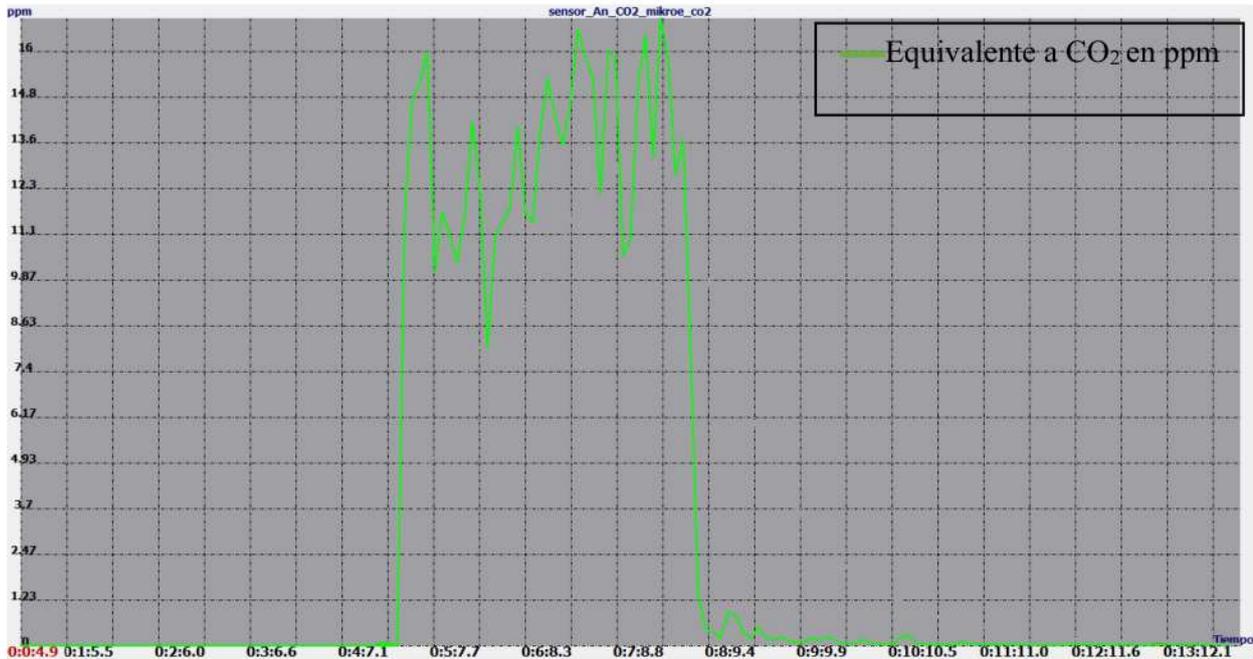


Figura 4. Detección de un compuesto volátil y su representación en el tiempo (segundos).

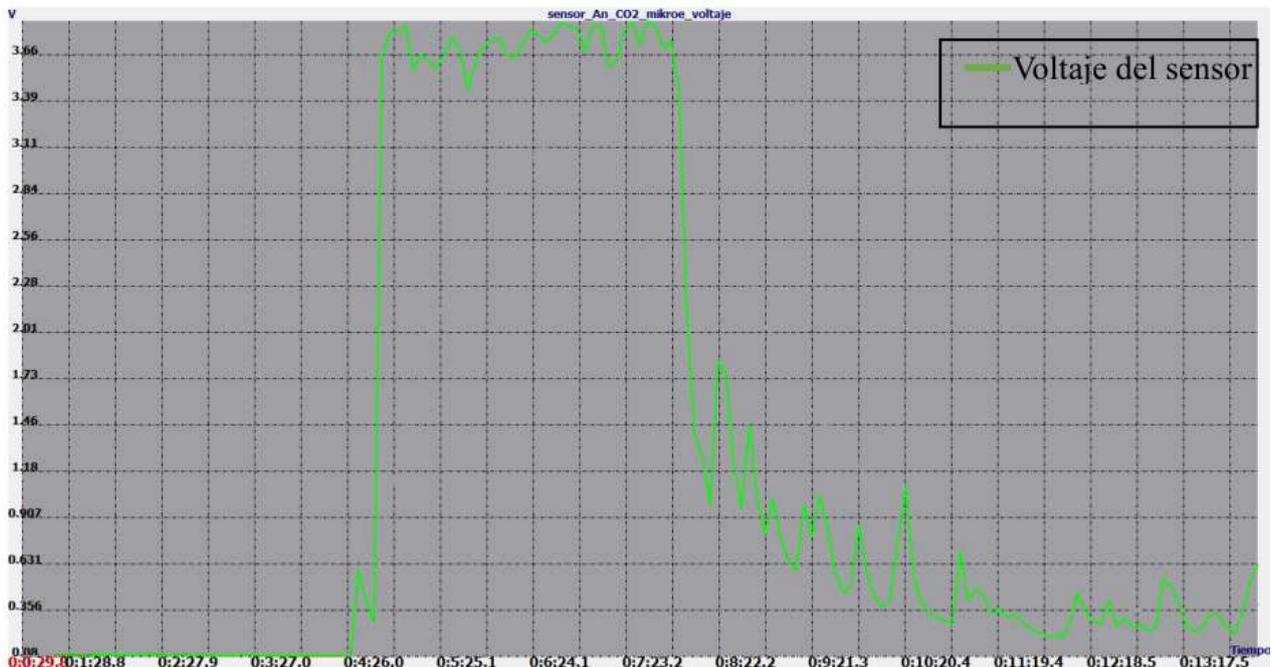


Figura 5. Variación del voltaje del elemento sensor al detectar la presencia de dicho compuesto.





Figura 6. Aumento de la concentración de CO₂ ante la presencia de dicho gas.

Otra prueba realizada fue la medición de partículas en suspensión donde se hizo circular una corriente de aire por el interior del sensor, nótese la rapidez del mismo en la respuesta gracias a su principio de funcionamiento basado en el efecto fotoeléctrico.

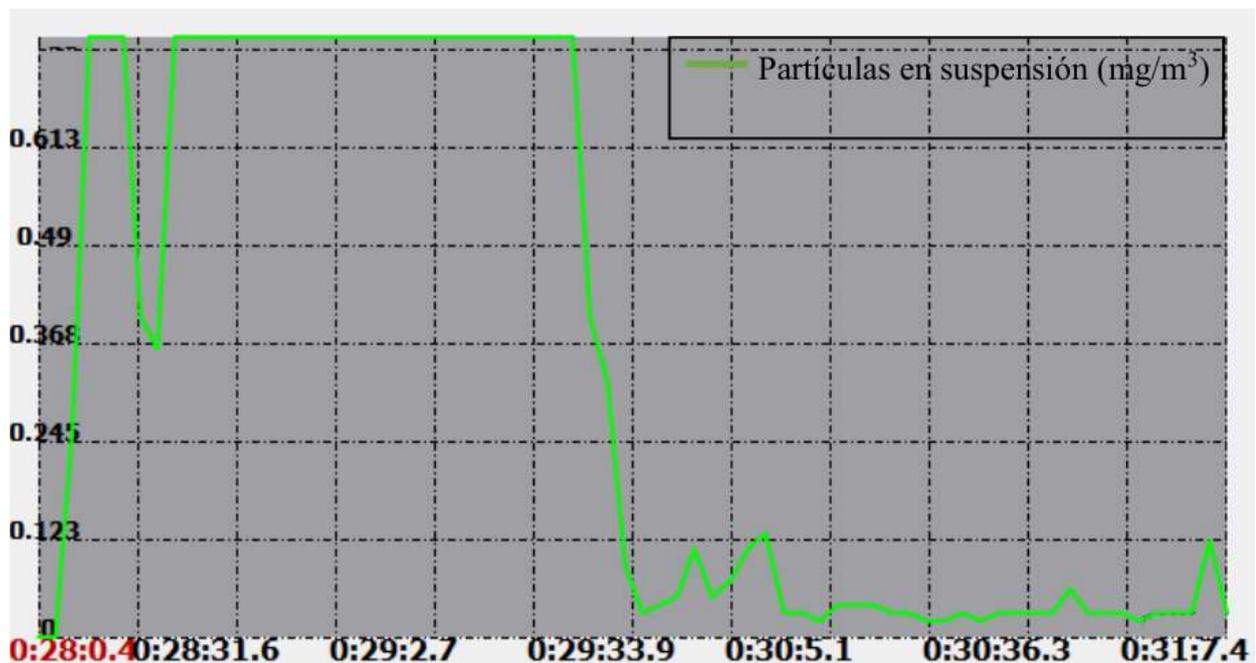


Figura 7. Detección de partículas en suspensión en ambiente creado con respecto al tiempo.



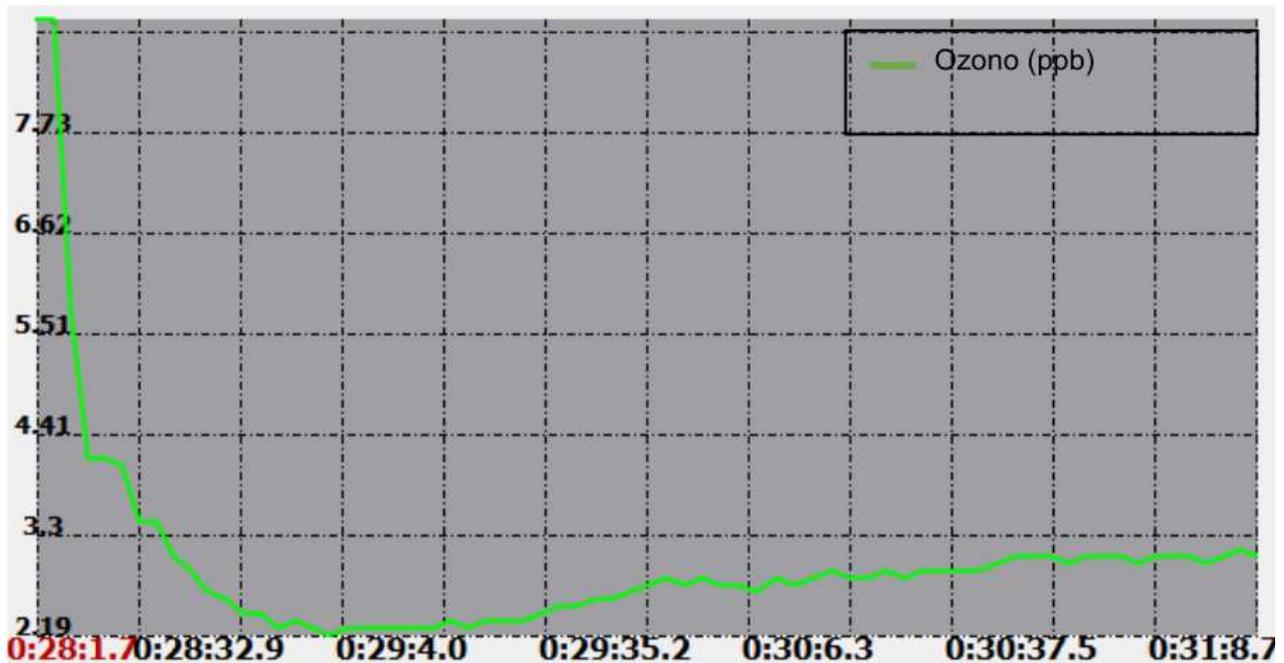


Figura 8. Disminución de la concentración de ozono (ppb) en el tiempo (segundos).

4. CONCLUSIONES

La arquitectura propuesta tanto software como hardware libre trae consigo innumerables posibilidades de desarrollar aplicaciones con buen desempeño partiendo de la idea de un menor costo económico. Se diseña un analizador de gases portable de bajo costo, bajo consumo energético y pequeñas dimensiones como solución cuando las exigencias requeridas no son muy altas. Como resultado se obtienen datos en consonancia con los niveles de contaminación en ambientes controlados que validan la propuesta presentada.

REFERENCIAS

- ABDEL-SHAFY, H. I. & MANSOUR, M. S. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25, 107-123.
- AMABLE ÁLVAREZ, I., MÉNDEZ MARTÍNEZ, J., BELLO RODRÍGUEZ, B. M., BENÍTEZ FUENTES, B., ESCOBAR BLANCO, L. M. & ZAMORA MONZÓN, R. 2017. Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39, 1160-1170.
- CANDELARIA, T.-R. M., EBELIA, D. Á.-M., GERMÁN, B.-M. R. & ELENA, H.-M. N. 2015. Corrosividad atmosférica del cobre y del acero en dos localidades de Villahermosa, Tabasco. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16, 197-206.
- CASTELL, N., DAUGE, F. R., SCHNEIDER, P., VOGT, M., LERNER, U., FISHBAIN, B., BRODAY, D. & BARTONOVA, A. 2017. Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment international*, 99, 293-302.
- GIRALDO, L. F. G. & ÁNGEL, M. L. H. 2004. La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de investigación*, 1, 67-72.
- GUO, Y., ZENG, H., ZHENG, R., LI, S., BARNETT, A. G., ZHANG, S., ZOU, X., HUXLEY, R., CHEN, W. & WILLIAMS, G. 2016. The association between lung cancer incidence and ambient air pollution in China: a spatiotemporal analysis. *Environmental research*, 144, 60-65.
- PORTÁTILES, E. 2017. *Estaciones Portátiles: Aeroqual AQM65* [Online]. Available: <http://www.ayt.cl/es/productos/estaciones-portatiles/aeroqual-aqm65-detail> (accessed 3.28.18).

