

Medición simultánea de gases con sensores MQ

Agnes S. Nagy, Alicia Polanco Risquet, Osmanys L. Martínez de la Coterá, Omar Carralero Ibagollen

RESUMEN / ABSTRACT

La protección del medioambiente cada vez más dañada por las actividades desarrolladas por el hombre, y dentro de ella la protección del propio ser humano día por día se hace más imprescindible. Una de las componentes más dañina para la salud es la contaminación del aire que respiramos con gases tóxicos. Los sensores de gases comerciales MQ de alta sensibilidad y respuesta rápida son ampliamente utilizados para la medición y/o detección de diferentes gases en ambientes controlados. Sin embargo, su baja selectividad limita su uso en entornos donde varios tipos de gases pueden estar presentes. En este trabajo se presenta un procedimiento que permite la medición simultánea de gases contaminantes del aire y los resultados obtenidos, utilizando los sensores de gases MQ-2 y MQ-5, conectados a un nodo sensor formado por la computadora de placa única Raspberry Pi 3. Este procedimiento puede ser utilizado en aplicaciones que necesitan señales de alarma o indicadores de aire limpio, y también para realizar estudios medioambientales –almacenando los resultados obtenidos– como en el ejemplo de aplicación presentado.

Palabras claves: medioambiente, sensores de gases, medición simultánea de gases con sensores MQ

The protection of the environment, increasingly damaged by the activities developed by man, and within it the protection of the human, day by day becomes more essential. One of the most harmful components to health is the pollution of the air we breathe with toxic gases. MQ commercial gas sensors with high sensitivity and rapid response are widely used for the measurement and / or detection of different gases in controlled environments. However, the low selectivity limits their use in environments, where several types of gases may be present. In this work a procedure that allows the simultaneous measurement of air pollutant gases is presented, together with the results obtained, using the MQ-2 and MQ-5 gas sensors, connected to a sensor node formed by Raspberry Pi 3 single-board computer. The procedure can be used in applications that need alarm signals or indicators of clean air, and also to carry out environmental studies based in the stored results, as was done in the application presented.

Keywords: environment, gas sensors, simultaneous measurement of gases with MQ sensors

Simultaneous measurement of gases with MQ sensors

1. -INTRODUCCIÓN

La protección del medioambiente cada vez más dañada por las actividades desarrolladas por el hombre, y dentro de ella la protección del propio ser humano día por día se hace más imprescindible. Las estadísticas [1] reportan datos tan tristes, como 7 millones de muertes por año, debido a daños medioambientales, mencionando como causas de mayor peso las afectaciones respiratorias (pulmonares) y cardiopatías.

Aunque el concepto del medioambiente incluye el suelo, agua, aire y los objetos en el espacio donde se desenvuelve la vida de los seres vivos, según las estadísticas [2,3], las afectaciones más dañinas para la salud son producidos por la contaminación del aire. El primer paso para poder interactuar con este factor es la obtención de la información que permite realizar estudios del comportamiento de la contaminación del aire tanto en ambientes interiores como exteriores.

En ambientes interiores o controlados, donde se conoce cuál es el posible gas contaminante, los sensores de la familia MQ de alta sensibilidad y respuesta rápida son amplia y eficientemente utilizados. Sin embargo, en ambientes exteriores, donde

pueden existir diferentes gases contaminantes, su baja selectividad limita la identificación de los mismos. Como respuesta a este hecho, han surgido diferentes vías de búsqueda para su solución. Algunos autores proponen encontrar la correlación entre los gases contaminantes [4], o enfocan la solución a través de redes neuronales [5]. Un método novedoso, que utiliza una cámara infrarroja, también ha sido reportado [6].

El procedimiento de medición que se presenta, se basa en la linealización de las curvas de sensibilidad, y permite la identificación de cada uno de los gases a sensar, así como la determinación de su máxima concentración en el medioambiente. Se implementa en un nodo sensor formado por los sensores de gases comerciales MQ-2 y MQ-5, junto con el sensor DHT11 para la medición de humedad y temperatura conectados a la computadora de placa única Raspberry Pi 3, cuyas facilidades de procesamiento, almacenamiento y comunicación son utilizados para sensar, procesar, almacenar y acceder a la información general adquirida.

2.- CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES DE GASES MQ2 Y MQ5

Los sensores de gases MQ pertenecen a la familia de sensores químicos. Según la definición de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, siglas del inglés: International Union of Pure and Applied Chemistry): un sensor químico es «un dispositivo que transforma información química sobre una muestra, en una señal analíticamente útil» [7]. La NMAB (*National Materials Advisory Board*) define los sensores químicos como "dispositivos o instrumentos que determinan la presencia detectable, la concentración o la cantidad de un analito dado" [8].

La familia de sensores MQ posee una capa sensible constituida por un óxido metálico, en este caso dióxido de estaño (SnO_2). En presencia de un gas, el óxido metálico provoca la disociación del gas en iones ocasionando transferencia de electrones y variación en la conductividad de la capa. Como este proceso depende de la temperatura, el sensor contiene un calefactor para mantener la temperatura de trabajo.

En el mercado, los sensores MQ generalmente se encuentran en módulos (Figura 1), lo que simplifica la parte de las conexiones y facilitan su uso. Su salida es analógica a través de un divisor de voltaje, como se muestra en la Figura 2. La resistencia sensible R_S del sensor (medida entre los terminales A y B) y R_L forman un divisor de voltaje. Los terminales H se utilizan para proveer la corriente de calentamiento del sensor [9,10].

Los módulos también tienen una salida digital, la cual permite su uso como detector (ON-OFF).



Figura 1

Módulos de los señores MQ-2 y MQ-5.

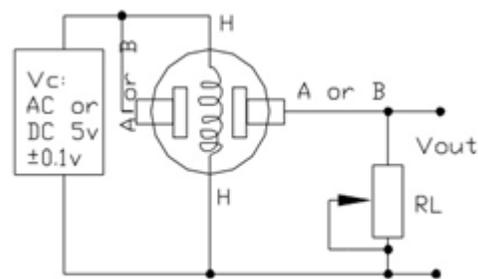


Figura 2

Circuito de medición del sensor.

En el trabajo presente se emplearon los sensores MQ-2 y MQ-5. Las características de sensibilidad de ambos sensores [9,10] se muestran en la Figura 3, donde se observa en escalas logarítmicas la variación de la sensibilidad R_S/R_0 en función de la concentración de los gases a sensar. Con el MQ-2 se puede medir la concentración de mayor número de gases, pero su selectividad es menor, ya que el mismo valor de la relación R_S/R_0 puede corresponder a diferentes gases, sin poder determinar a cual de ellos se debe el resultado.

Ambas curvas de sensibilidad presentan el valor de R_S/R_0 medido para el aire limpio, lo que puede ser un indicador importante en diversas aplicaciones.

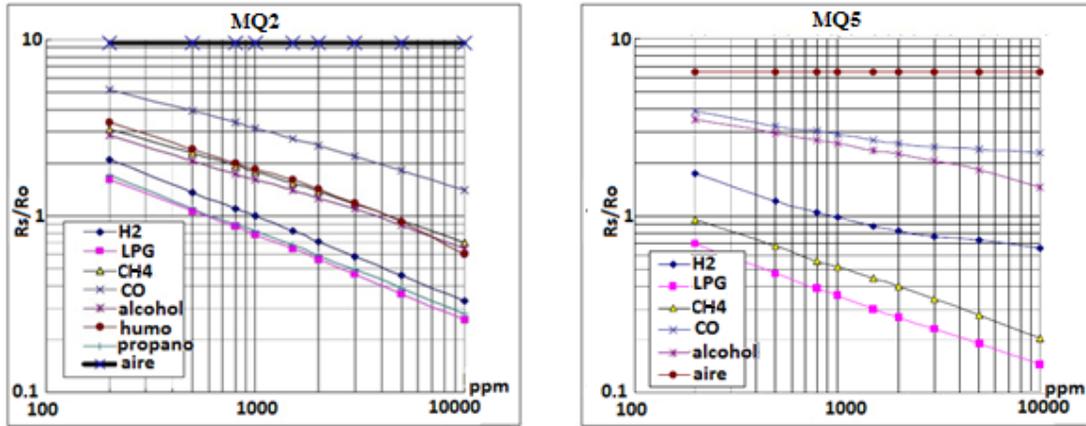


Figura 3

Características de sensibilidad de los sensores MQ-2 y MQ-5.

3.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Antes de proceder a la medición los sensores deben ser calibrados, para obtener el valor de R_0 . Este paso se incluye dentro del procedimiento general para la medición de gases, cuya concepción se presenta en la Figura 4.

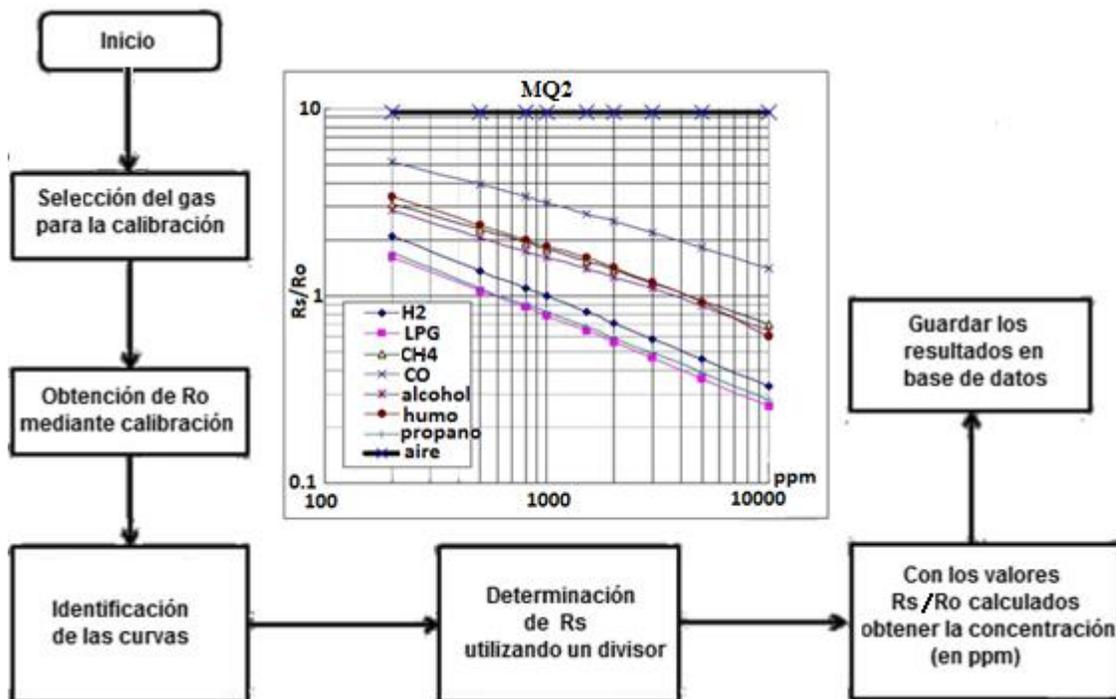


Figura 4

Procedimiento general de medición.

Para el sensor MQ2 se utilizó como gas de referencia el monóxido de carbono (CO) en aire limpio, a la temperatura de 24°C, cuyos valores típicos entre 30 a 50 ppm se encuentran reportados en la literatura [11]. El valor obtenido de R_0 para CO es válido para el resto de los gases. En este caso, utilizando una resistencia de carga $R_L = 5 \text{ k}\Omega$ en el divisor de voltaje de la Figura 2 se obtuvo $R_0 = 9,83 \text{ k}\Omega$.

Tanto para la calibración como para la medición con el sensor, las curvas de sensibilidad de los gases fueron linealizadas, introduciendo cierto error de medición, permitiendo una identificación (o diferenciación) fácil de los diferentes gases a través de las pendientes y su punto de inicio. El valor de R_s se calculó a partir del divisor de voltaje que forma la interfaz electrónica de estos sensores, mostrado en la Figura 5.

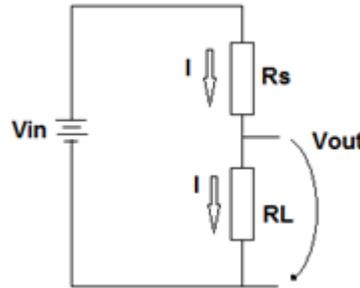


Figura 5

La interfaz electrónica en presencia de gases.

donde:

$$V_{out} = R_L \frac{V_{in}}{R_s + R_L} \quad (1)$$

$$R_s + R_L = R_L \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (2)$$

$$R_s = R_L \left[\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right] = R_L \frac{V_{in} - V_{out}}{V_{out}} \quad (3)$$

3.1.- ALGORITMO DE IDENTIFICACION DE GASES

El objetivo de este algoritmo es identificar los gases a sensar, presentes en el medio donde se mide, y obtener su concentración para la sensibilidad R_s/R_o previamente calculada. Esto significa, que la concentración de cada gas se calcula como si fuera la única contribuyente a la contaminación, lo que asegura, que la concentración equivalente medida es la máxima posible en el lugar de medición ("peor caso"). Conocer el peor caso constituye una ventaja para los sistemas de protección, ya que la comparación de este valor con las normas establecidas asegura que se emitan señales de alarma antes que la toxicidad alcance niveles dañinos para la salud. El diagrama del algoritmo de identificación se muestra en la Figura 6.

En el inicio del algoritmo se declara el valor obtenido para la sensibilidad (R_s/R_o) y el conteo de 0 hasta 6 de los 7 gases a medir: LPG (liquified petroleum gas), monóxido de carbono, propano, metano, alcohol, hidrogeno y humo. Cada vez que se identifica un gas con el valor de la sensibilidad declarada, se determina su concentración. Al finalizar el algoritmo, cada gas tiene su valor de concentración asociada.

Sin embargo, el valor de R_s/R_o no solo es importante para determinar la concentración de los gases, sino también como indicativo del aire limpio. Como se puede observar en la Figura 4, para el sensor MQ2 este indicador corresponde a $R_s/R_o \geq 10$. Este es otra aplicación potencial del procedimiento aquí presentado.

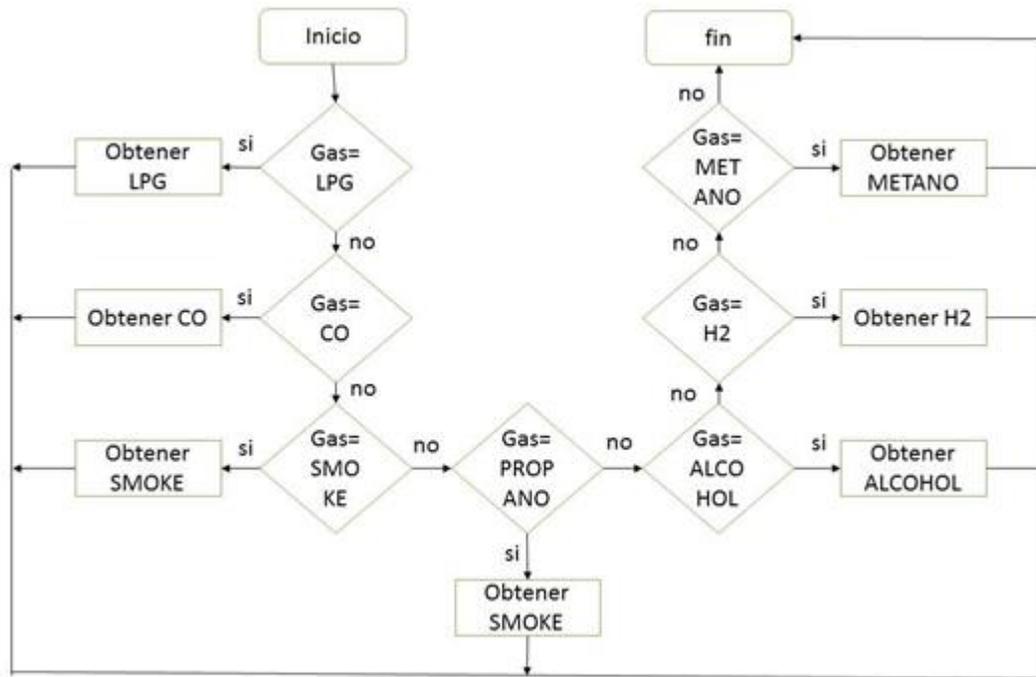


Figura 6

Diagrama de flujo para la identificación de los gases.

El algoritmo de identificación se incorporó dentro del flujo principal del nodo sensor, representado en la Figura 7, cuyo objetivo es sensar, procesar y almacenar en una base de datos la información ambiental obtenida, de forma accesible en cualquier momento.

3.2.- DIAGRAMA DEL FLUJO PRINCIPAL

El diagrama de flujo de la Figura 7 se inicia con la declaración de los pines de conexión del sensor de humedad y temperatura DHT11 [12] y se procede a su lectura. El paso siguiente es la identificación de los gases, cuya concentración se calcula uno a uno a través del procedimiento indicado, guardando la información en una base de datos que registra fecha, hora, temperatura, humedad, y concentración de los gases. Este procedimiento se repite cada 30 s, pero puede ser cambiado según los requisitos de la aplicación.

A continuación, se muestra un ejemplo de aplicación de este procedimiento de medición y sus resultados, en nodos de sensores construidos con la computadora de placa única Raspberry Pi 3 [13], en una pequeña aplicación para el estudio del medioambiente [14].

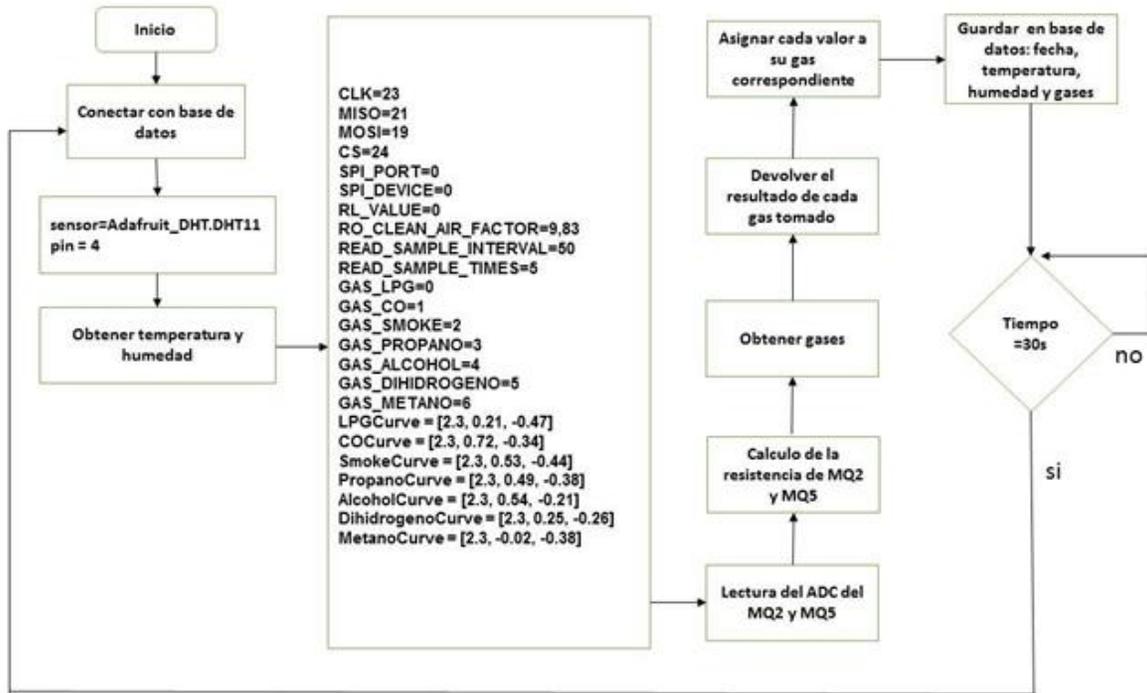


Figura 7

Diagrama del flujo principal del nodo sensor.

4.- EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICION Y SUS RESULTADOS

Se desarrolló una aplicación medioambiental representada en la Figura 8, con dos nodos sensores [14] que trabajan de forma continua y sincronizada. Cada nodo recoge información de su propio medioambiente, la procesa, la amacena y la transmite al otro nodo, asegurando que en ambos siempre esté guardada la información de los dos.

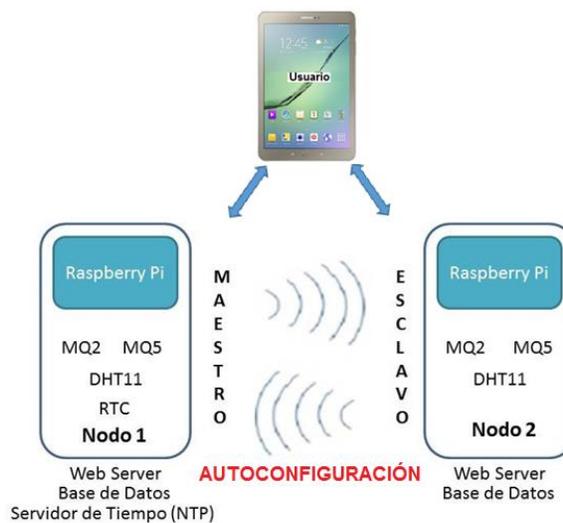
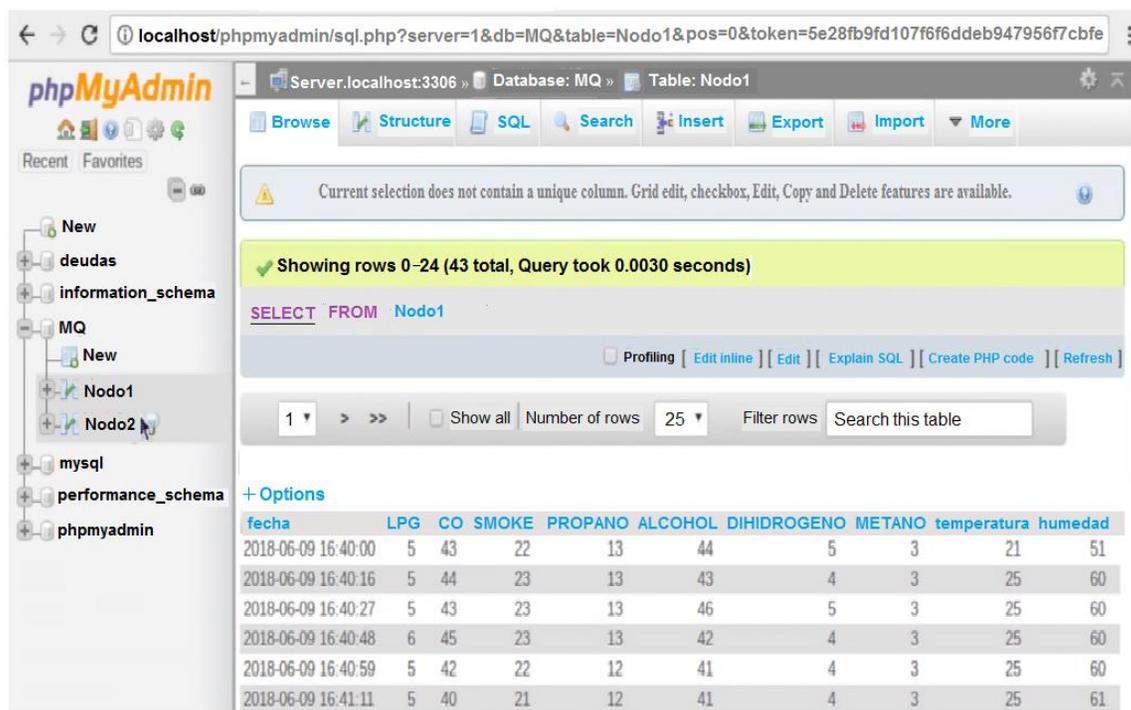


Figura 8

Esquema general de la aplicación medioambiental desarrollada.

Los nodos sensores son muy similares, más no idénticos, pues un nodo actúa como maestro y otro como esclavo. El nodo que actúa como maestro, además de obtener mediciones medioambientales como el resto de los nodos, cuenta con un reloj de tiempo real (RTC) el cual se usa junto con un Servidor NTP (ejecutado en la propia Raspberry Pi) para sincronizar fecha y hora en todos los nodos conectados. Otra propiedad del nodo maestro es que crea un punto de acceso inalámbrico, al cual se conectan los nodos esclavos, no solo para obtener fecha y hora de este nodo, sino también para compartir sus bases de datos entre todos, asegurando que cada uno de ellos cuente con toda la información medioambiental obtenida.

El usuario (ver figura 8) puede conectarse desde cualquier dispositivo con WiFi a los nodos para obtener la información almacenada en los mismos, como se muestra en la Figura 9.



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database named 'MQ'. The selected table is 'Nodo1'. The interface displays a table with 43 rows of data. The columns are: fecha, LPG, CO, SMOKE, PROPANO, ALCOHOL, DIHIDROGENO, METANO, temperatura, and humedad. The data shows measurements taken on 2018-06-09 at various times, with values for each parameter ranging from 4 to 61.

fecha	LPG	CO	SMOKE	PROPANO	ALCOHOL	DIHIDROGENO	METANO	temperatura	humedad
2018-06-09 16:40:00	5	43	22	13	44	5	3	21	51
2018-06-09 16:40:16	5	44	23	13	43	4	3	25	60
2018-06-09 16:40:27	5	43	23	13	46	5	3	25	60
2018-06-09 16:40:48	6	45	23	13	42	4	3	25	60
2018-06-09 16:40:59	5	42	22	12	41	4	3	25	60
2018-06-09 16:41:11	5	40	21	12	41	4	3	25	61

Figura 9

Base de datos para el acceso del usuario.

Los resultados de medición obtenidos y almacenados en la base de datos de cualquiera de los dos nodos incluyen fecha, hora, las concentraciones de 7 gases tóxicos, la humedad y la temperatura como se muestra en la Figura 10, medidas en ambos nodos empleando el procedimiento antes descrito. En la Figura 11 se presenta el valor promedio calculado de la concentración de los 7 gases, medidos en 8 horas. La representación de la concentración promedio de los gases facilita el estudio del comportamiento de la calidad del aire para diferentes intervalos de tiempo, y permite una rápida comparación con las normas medioambientales establecidas.

Nodo1									
Fecha	Gas Licuado del petroleo	Monoxido de carbono	Humo	Propano	Alcohol	Dihidrogeno	Metano	Temperatura	Humedad
2018-06-10 19:21:58	5ppm	40ppm	21ppm	12ppm	462ppm	30ppm	11ppm	30°C	69%
2018-06-10 19:22:09	5ppm	39ppm	21ppm	11ppm	436ppm	29ppm	10ppm	30°C	69%
2018-06-10 19:22:20	5ppm	40ppm	21ppm	12ppm	339ppm	23ppm	9ppm	30°C	69%
2018-06-10 19:22:34	5ppm	39ppm	21ppm	12ppm	348ppm	24ppm	9ppm	30°C	69%
2018-06-10 19:22:45	5ppm	38ppm	20ppm	11ppm	344ppm	24ppm	9ppm	30°C	69%
2018-06-10 19:22:57	5ppm	40ppm	22ppm	12ppm	277ppm	20ppm	8ppm	30°C	69%
2018-06-10 19:23:08	5ppm	39ppm	21ppm	11ppm	324ppm	23ppm	9ppm	30°C	69%

Nodo2									
Fecha	Gas Licuado del petroleo	Monoxido de carbono	Humo	Propano	Alcohol	Dihidrogeno	Metano	Temperatura	Humedad
2018-06-10 19:22:34	5ppm	45ppm	10ppm	15ppm	30ppm	6ppm	5ppm	25°C	65%
2018-06-10 19:22:45	5ppm	45ppm	10ppm	15ppm	30ppm	6ppm	5ppm	25°C	65%
2018-06-10 19:22:57	6ppm	41ppm	10ppm	6ppm	34ppm	2ppm	6ppm	27°C	65%
2018-06-10 19:23:08	6ppm	41ppm	10ppm	6ppm	34ppm	2ppm	6ppm	27°C	65%

Figura 10

Resultados de las mediciones almacenadas en la base de datos de uno de los nodos.

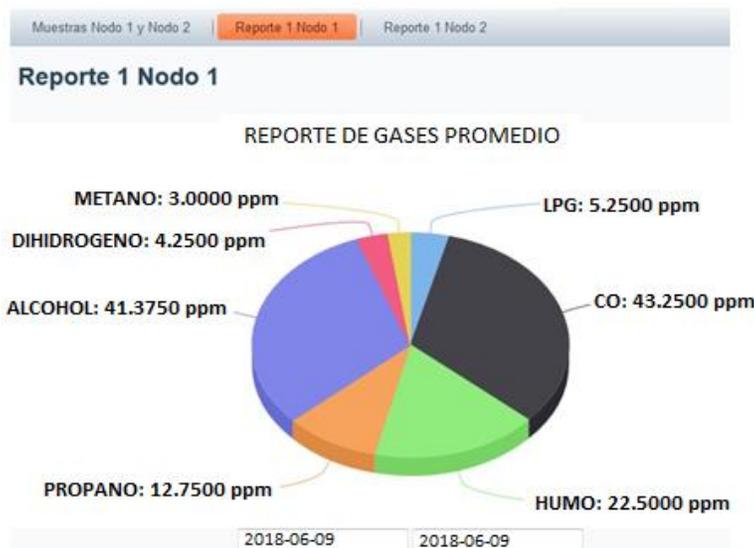


Figura 11

Valor promedio de la concentración de los siete gases para 8 horas de medición.

5.- CONCLUSIONES

El procedimiento de medición presentado permite la medición simultánea de la concentración de diferentes gases contaminantes de forma mucho más sencilla que los antes reportados en la literatura.

Otra ventaja del procedimiento de medición consiste en la determinación de la mayor contribución que cada gas pudiera tener al medioambiente. El valor de este "peor caso" es de suma importancia para los sistemas de protección.

El valor obtenido de Rs/Ro durante el procedimiento de medición, puede ser utilizado como indicador de aire limpio, teniendo en cuenta las curvas de sensibilidad correspondientes a los sensores empleados.

El procedimiento elaborado fue implementado en dos nodos sensores para una aplicación medioambiental, donde se obtuvo la concentración de siete gases tóxicos en el ambiente, a pesar de la selectividad limitada de los sensores MQ2 y MQ5 empleados.

Con los resultados almacenados se obtuvo el valor promedio de la concentración de los diferentes gases medidos en 8 horas, cuya representación gráfica facilita una comparación rápida con las normas establecidas.

REFERENCIAS

1. World Health Organization: 7 million deaths in 2012 due to air pollution, [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/china/news/detail/25-03-2014-world-health-organization-7-million-deaths-in-2012-due-to-air-pollution>. [Accedido: 28-feb-2019].
2. World Health Organization: Ambient (outdoor) air quality and health, 2 de mayo, 2018 [En línea] Disponible en [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [Accedido: 11-mayo-2019]
3. Vijayaraghavan K. Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 57:740-752.
4. Granados J, Tavera F, Calzadilla O, Medina L, López G, Velázquez JM, Morales A. Sistema Computarizado de sensado de Gases Contaminantes (Conference Paper). VII Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria. La Habana; Cuba; 2016.p. 1-5 en: <http://www.researchgate.net/publication/303966706>
5. Rubio JJ, Hernández-Aguilar JA, Ávila-Camacho FJ, Stein-Carrillo JM, Meléndez-Ramírez A. Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes Neuronales. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. 2016; XVII (2): 211-222. ISSN 1405-7743 FI-UNAM
6. Google Patents [database on the Internet]. WO2014096480A1. Método y dispositivo para la detección y medida de la concentración de gases. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/WO2014096480A1/es>
7. Hulanicki, A, S. Glab, F. Ingman. (1991): Chemical Sensors Definitions and Classification. In: *Pure and Applied Chemistry*, IUPAC, 1991. 63 (9), p. 1247-1250
8. Expanding the Vision of Sensor Materials. (Reporte del Committee on New Sensor Technologies: Materials and Applications). National Academy Press, Washington; DC; 1995.
9. Technological Data MQ-2 Gas Sensor en <http://www.hwsensor.com>
10. Technological Data MQ-5 Gas Sensor en <http://www.hwsensor.com>
11. Vega I, Lagos MA, Salgado G. Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range. *Revista de Ciencia y Tecnología INGENIUS*. 2017; (18):73-83
12. Temperature and humidity module, DHT11 Product Manual, en www.aosong.com
13. Raspberry Pi. The Complete Manual. Imagine Publishing Ltd, Richmond House, 33 Richmond Hill, London (UK) 2015
14. Carretero Ibargollen O, Martínez de la Cotera Garciga O, Nagy A, Polanco Risquet A. Aplicación medioambiental empleando nodos sensores con Raspberry Pi 3. XIX Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Evento CITTEL. La Habana; Cuba; 2018.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Agnes S. Nagy: contribución importante a la idea y diseño del estudio, la revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los resultados. Redacción del borrador del artículo y de su versión final.

Alicia Polanco Risquet: contribución importante a la idea y diseño del estudio, la revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los resultados. Redacción del borrador del artículo y de su versión final.

Osmanys L. Martínez de la Coterá Garciga: contribución al diseño, montaje y programación de la aplicación medioambiental, así como a la búsqueda bibliográfica.

Omar Carralero Ibargollen: contribución al diseño, montaje y programación de la aplicación medioambiental, así como a la búsqueda bibliográfica.

AUTORES

Agnes S. Nagy: Licenciada en Física, Dra. en Ciencias Técnicas. Profesora Auxiliar del Centro de Investigaciones en Microelectrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana, CIME-CUJAE, Cuba.

email: agnes.nagy@cime.cujae.edu.cu No. ORCID 0000-0001-5046-0820

Áreas de interés: C.I. sensores de temperatura, referencias de voltaje de banda prohibida, modelación de efectos físicos en transistores bipolares, diseño y aplicación de sensores.

Alicia Polanco Risquet: Ingeniera en Telecomunicaciones, Dra. en Ciencias Técnicas. Profesora Auxiliar del Centro de Investigaciones en Microelectrónica de la Universidad Tecnológica de La Habana, CIME-CUJAE, Cuba.

email: alicia.polanco@cime.cujae.edu.cu No. ORCID 0000-0001-5189-3492

Áreas de interés: C.I. sensores de temperatura, referencias de voltaje de banda prohibida, modelación de efectos físicos en transistores bipolares, diseño y aplicación de sensores.

Osmanys L. Martínez de la Coterá Garciga: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2018 en la Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba. No. ORCID 0000-0002-7686-4441

Áreas de interés: Comunicación inalámbrica y redes de sensores.

Omar Carralero Ibargollen: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en 2018 en la Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba. No. ORCID 0000-0002-6392-349X

Áreas de interés: Comunicación inalámbrica y redes de sensores.



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)