

Evaluación del comportamiento de sensores CO₂ comerciales de bajo costo Evaluation of the behavior of low-cost commercial CO₂ sensors

L. Correa-Olvera ^{a, *}

^a Sistemas Mecánicos, Gerencia Máquinas Especiales, Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, A.C) 76150, Querétaro, Querétaro, México.

Resumen

El presente artículo describe la implementación un sistema de monitoreo de CO₂ de una oficina de trabajo utilizando dispositivos IoT para la adquisición de señales, procesamiento de los valores y su transmisión en un modelo de cliente-servidor por medio de una red local inalámbrica “Wifi”, en la cual a cada sensor se le asigna un identificador de acuerdo a la zona donde fue colocado, se describen los equipos, el código de comunicación y el desarrollo de una interface web para la visualización de los valores medidos, además de la implementación de una base de datos para el almacenamiento e histórico de los valores monitoreados y puedan ser de utilidad para un posterior análisis del comportamiento de CO₂.

Palabras Clave: Sensores, CO₂, ESP8266, IoT.

Abstract

This article describes the implementation of a CO₂ monitoring system for a work office using IoT devices for the acquisition of signals, processing of values and their transmission in a client-server model through a local wireless Wi-Fi network, in which each sensor is assigned an identifier according to the area where it was placed, the equipment, the communication code and the development of a web interface for the visualization of the measured values are described, in addition to the implementation of a database of data for the storage and history of the monitored values and can be useful for a subsequent analysis of the behavior of CO₂.

Keywords: Sensors, CO₂, ESP8266, IoT.

1. Introducción

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Al respirar el cuerpo humano exhala CO₂ al ambiente, cuando esto se realiza en exteriores la cantidad de CO₂ emitida se diluye de manera rápida, pero al encontrarse en un espacio cerrado y sin ventilación adecuada la concentración de CO₂ se acumula en el área confinada, esta concentración se incrementa de manera exponencial en función de la cantidad de personas que se encuentren reunidas en una misma habitación, se estima que en un espacio similar al de un automóvil, el 8% de aire respirado ya fue inhalado y exhalado por otra persona, dentro del contexto de la pandemia COVID19, esta concentración de CO₂ se traduce como un incremento en el riesgo de contagio (Hailiang *et al.*, 2022). Una manera de mitigar la concentración de CO₂ en interiores

es la implementación de monitores e indicadores de concentración que indiquen cuando sea necesario ventilar el área o reducir la cantidad de personas concentradas.

1.1. Conceptos sobre IAP

La mayoría de los indicadores de CO₂ comerciales actualmente solo indican el valor medido por medio de una pequeña pantalla y en general no almacenan un histórico de los valores registrados, en edificios de oficinas se requiere de colocar un medidor de CO₂ por cada oficina o piso, y para poder realizar un seguimiento completo es necesario realizar las anotaciones uno por uno y desplazarse hacia cada uno de ellos.

*Autor para la correspondencia: luis.correa@ciateq.mx

Correo electrónico: luis.correa@ciateq.mx (L. Correa-Olvera)

El termino para determinar la calidad del aire dentro de edificios se denomina IAQ por sus siglas en inglés (Indoor Air Quality), La calidad del aire interior se ve afectada por una gran variedad de factores, incluyendo la ocupación humana de una habitación , desarrollar y aplicar métodos efectivos y no invasivos para monitorear la cantidad de personas en una habitación y por lo tanto la concentración de CO₂ ayudara a generar estrategias para evitar infecciones que se transmiten por medio del aire en lugares cerrados (Gregory T. *et al.*, 2022).

2. Planteamiento y desarrollo.

2.1. Arquitectura del sistema de monitoreo

Para el desarrollo de sistemas de monitoreo para IAQ se encuentran dos tecnologías que presentan un mayor potencial y mayor recurrencia, estas son las tecnologías de sensores inalámbricos (WSN) y sensores con capacidad de conexión a internet (IoT) (Koohang *et al.*, 2022)

De manera general (Marques. *et al.*, 2019) Propone una arquitectura general de una IAQ basado en IoT, esta estructura comprende cuatro partes: Un sistema de monitoreo físico el cual contempla en su mayor parte hardware y tecnología de comunicación, un sistema de almacenamiento de datos, un sistema de análisis de datos y un sistema de visualización para el usuario.

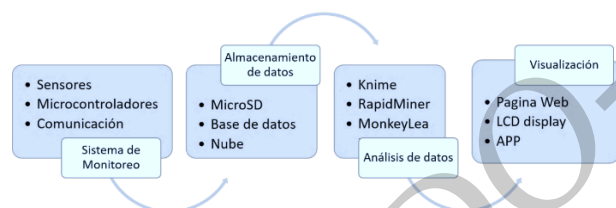


Figura 1.- Esquema del sistema de monitoreo.

2.2. Sensores comerciales

El presente estudio toma como base de comparación dos sensores económicos y comerciales y de fácil acceso los cuales son compatibles para desarrollos de sistemas de adquisición y monitoreo basados en microcontroladores como los mencionados anteriormente.

El sensor MQ135 es un sensor de calidad del aire que permite detectar de acuerdo con su hoja de especificaciones gases como Amoniac, Dióxido de Nitrógeno, Alcohol, Dióxido y Monóxido de carbono, este sensor varia un valor de voltaje en una salida analógica en proporción de la presencia de un gas con un rango de entre 10 y 1000 ppm.

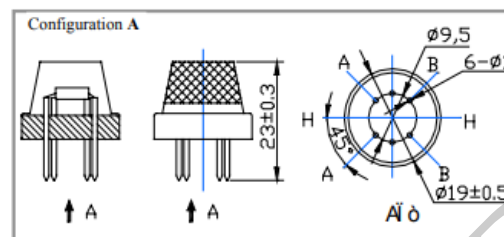


Figura 2.- Configuración de sensor MQ135 en tipo A.

Este sensor tiene como elemento principal de detección el SnO₂ el cual es un semiconductor, en conjunto con un microtubo cerámico de AL₂O₃, un electrodo de medición y un calentador contenidos en una capsula de plástico y acero inoxidable. En este caso se uso el componente en su configuración “A” de acuerdo con la hoja de datos del fabricante.

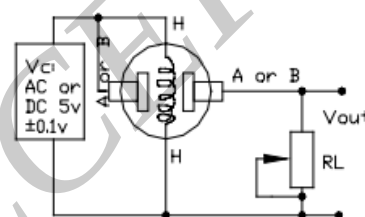


Figura 3.- Componentes de sensor MQ135 tipo A.

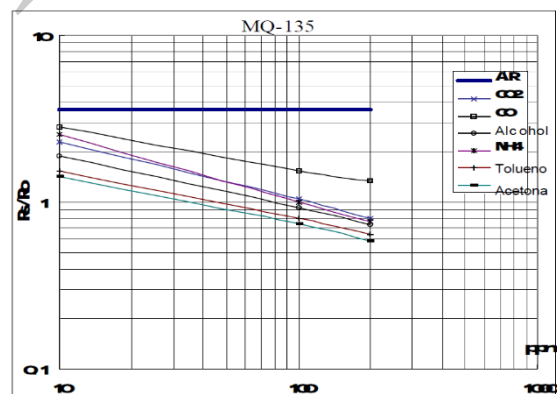


Figura 4.- Grafica de sensibilidad de sensor MQ135.

El sensor MG-811 es un sensor dedicado para detección de CO₂ , este sensor funciona mediante una celda de dióxido de carbono, como elemento principal utiliza un sensor de dióxido de zirconio (ZrO₂) dopado con calcio el cual reacciona ante la presencia de CO₂.

Se compone de un circuito de acondicionamiento de señal integrado para amplificar la señal de salida y un circuito de calefacción integrado para calentar el sensor. El MG-811 es altamente sensible al CO₂ y menos sensible al alcohol y al CO. El voltaje de salida del módulo cae a medida que aumenta la concentración de CO₂. Tiene un rango de medición de 350 a 10,000 ppm.

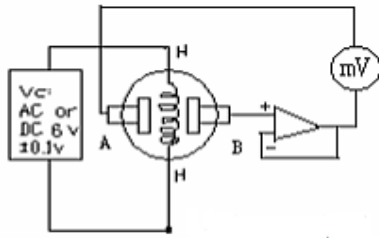


Figura 5.- Componentes de sensor MG811.

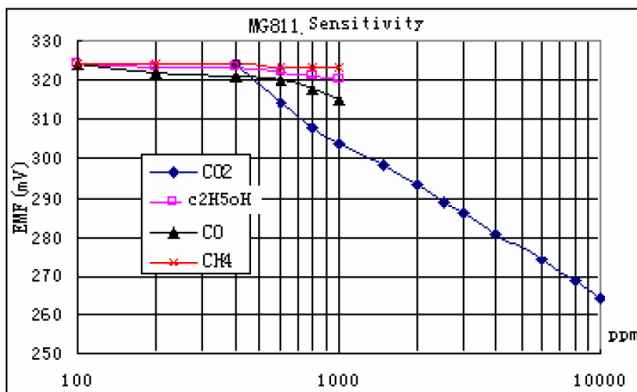


Figura 6.- Gráfica de sensor MG811.

Como sensor de referencia se utilizó el medidor Fluke 975, que es un instrumento para control de calidad de aire en interiores, además de contar con un sensor de CO₂, mide temperatura y humedad. Cuenta con una rango de 0 a 5000 ppm para CO₂.



Figura 7.- Medidor Fluke 975

2.3. Ecuaciones de conversión de señal a ppm.

Para realizar la caracterización de las señales obtenidas de los sensores se deben interpretar las curvas de sensibilidad, para el sensor MQ135 la gráfica tiene una escala logarítmica por lo que se tiene que obtener la ecuación que describe la curva a partir de los datos de la gráfica de sensibilidad (Fig. 2 y Fig. 3).

(Kalra et al, 2016) propone que la función de potencia es la que mejor se adecua para los datos extraídos de la gráfica logarítmica del sensor, donde a es la escala y b el factor exponencial.

$$y = a * x^b \quad (1)$$

Para el caso del sensor MQ135 la ecuación de sensor es la siguiente:

$$ppm = a * (R_s/R_0)^b \quad (2)$$

Posteriormente al realizar un análisis de regresión de potencia obtienen los valores siguientes:

$$a = 121.45 \quad (3)$$

$$b = -2.78054 \quad (4)$$

Para realizar una calibración de manera rápida (Kalra et al, 2016) sugiere la realizar el cálculo de R_0 , colocando el sensor en un ambiente libre y ventilado, y utilizar una concentración aproximada de 400 ppm para esta medida del ambiente.

$$R_0 = R_s \left(\frac{a}{ppm} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (5)$$

Se realizó el mismo procedimiento con la gráfica del sensor MG811 para obtener los valores a y b de su respectiva ecuación, estas ecuaciones se programan en su respectivo microcontrolador asignado a cada sensor para interpretar la señal obtenida.

3. Metodología.

Para la comparación de los datos se realizó el siguiente procedimiento:

- Obtención de las ecuaciones de interpretación con información de las gráficas de sensibilidad de cada sensor.
- Calibración de ambos sensores en el mismo ambiente despejado y libre usando como valor de referencia 400 ppm validadas por el medidor fluke 975.
- Ambos sensores se integraron a un microcontrolador ESP8266 respectivamente y se diseñó la circuitería para su alimentación por medio de un cargador de 5v.
- Se programaron los microcontroladores para leer la señal, convertirla a ppm y enviar el dato a una base de datos MySQL por medio de la red inalámbrica WIFI con una IP asignada fija a cada uno de ellos.
- Se programo una interfaz en *HTML* en *NeatBeans* para leer los valores de la base de datos y desplegarlos en una interfaz de manera numérica y en grafica con el historial de datos registrados cada 5 segundos.
- Al iniciar cada registro de datos se colocaban juntos los sensores y el medidor fluke 975 y se iniciaba en los 3

equipos el registro de datos por un tiempo preestablecido.

- Al finalizar el tiempo se obtenían las gráficas almacenadas en el fluke 975 y se realizaba una extracción de los datos de la base de datos de los sensores para integrar los valores en excel y observar las gráficas de comportamiento.

Este procedimiento se realizó en diferentes horarios y con concentraciones de personas diferentes para observar el comportamiento en escenarios distintos, pero en el mismo lugar físicamente.

Se muestra los elementos colocados para las mediciones experimentales: Se realizaron calibraciones de medición en el mismo ambiente para cada sensor comparando con el medidor fluke.

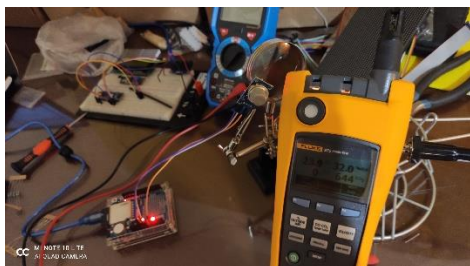


Figura 8.- Calibración de sensores en comparación con medidor Fluke.

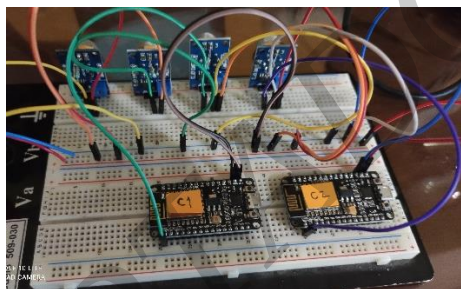


Figura 9.- Programación de lecturas y transmisión de datos para cada sensor.

Se realizó el armado de los componentes electrónicos de los sensores con las fuentes de alimentación y el microcontrolador.

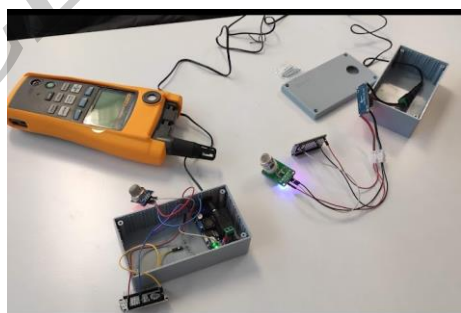


Figura 10.- Armado de cajas de sensores.

Se colocaron en una área común a la misma distancia dentro de una oficina durante el periodo de adquisición de datos.



Figura 11.- Colocación de sensores en área de medición en oficina.

4. Resultados

Los datos obtenidos de cada sensor se visualizaban de manera directa en la pantalla de interfaz que se programó para tener una lectura en tiempo real de los valores, estos valores cambiaban de color dependiendo el rango programado a manera de alerta visual entre azul, amarillo y rojo.



Figura 12.- Interfaz de sensores CO2.

Además, al hacer clic en cada nombre de la gráfica se desplegaba una pantalla con el historial de los valores registrados para observar el comportamiento sobre el tiempo, con capacidad de realizar aumentos en zonas concretas de la gráfica.

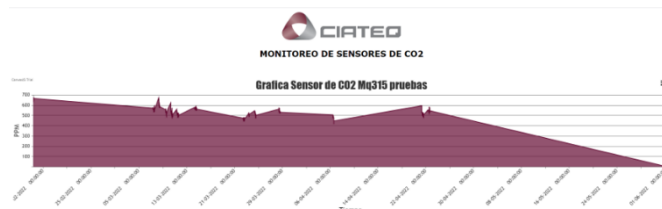
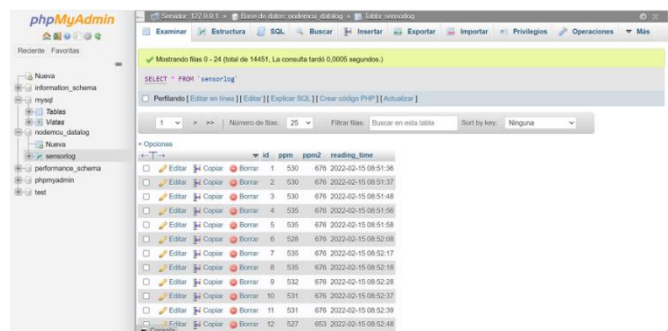
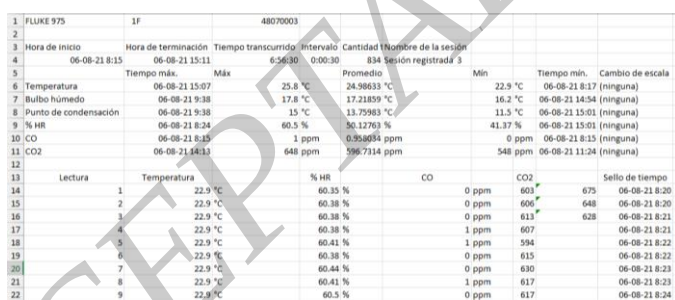


Figura 13. Gráfica de sensor MQ135 en página web.

Figura 14.- Gráfica Sensor MG811 en página web.



Para las mediciones del medidor de aire de fluke se requiere extraer los datos almacenados por medio de un cable USB directo a una aplicación propia llamada *FlukeView Forms*, en la cual permite exportar las mediciones en formato CVS.



Al exportar los datos, este medidor genera datos sobre la fecha y tiempo de adquisición, la humedad relativa, la temperatura y el punto de condensación, la velocidad de muestreo es menor a la generada por los sensores MQ135 y MG811 y es predeterminada por la memoria disponible en el dispositivo. Los datos obtenidos de este medidor están más espaciados en el tiempo a comparación de los otros dos sensores, pero al registrar la hora se empataron en la ventana de tiempo para su comparación.

En las siguientes comparaciones se adjuntaron los valores de los tres sensores tomando como referencia la metodología descrita en el punto 3, en la gráfica de resultados el sensor MQ135 muestra de manera general valores mayores teniendo una diferencia de hasta 100 ppm respecto al sensor MG811. En la hoja de especificaciones se indica que el sensor MQ135 también es sensible a otros gases en mayor proporción que el MG811.

Mediciones CO2 (3er Piso Edificio R) Unidades: PPM

PM

700
680
660
640
620
600
580
560
540
520
500
480
460
440
420
400

— MG811
— MQ135
— Fluke 97

11/01/2019 11/02/2019 11/03/2019 11/04/2019 11/05/2019 11/06/2019 11/07/2019 11/08/2019 11/09/2019 11/10/2019 11/11/2019 11/12/2019 11/13/2019 11/14/2019 11/15/2019 11/16/2019 11/17/2019 11/18/2019 11/19/2019 11/20/2019 11/21/2019 11/22/2019 11/23/2019 11/24/2019 11/25/2019 11/26/2019 11/27/2019

Tiempo Fecha/hora

Figura 18. Grafica comparativa sensor MQ135, MG811 y Fluke 975.

Durante las adquisiciones de datos se observó una tendencia del sensor MQ135 a elevar los valores de medición de manera repetitiva y en ocasiones errática, mostrando una variabilidad mayor en comparación al sensor MG811 que mostro un

comportamiento más estable y comparable con los valores de referencia del Fluke 975.

Este comportamiento es esperado debido al principio de funcionamiento de cada sensor, mientras que el sensor MQ135 esta considerado para poder detectar otros gases además del CO₂, el sensor MG811 esta dedicado a mediciones de CO₂ y tiene una mayor precisión y rango. Otra diferencia para considerar es el precio de ambos sensores, aunque los dos se consideran de bajo costo el sensor MQ135 es significativamente más económico en comparación con el sensor MG811.

Es importante mencionar que para el desarrollo de esta comparativa no se identificaron estudios de QA/QC (Quality Assurance, Quality Control) de los lotes de fabricación de estos sensores.

La intención de la comparación mostrada en el presente trabajo es tener una manera comparativa de contrastar estos sensores ya que ambos son populares para su integración en proyectos de medición de CO₂ y para calidad de aire. De acuerdo con la experimentación se recomienda considerar para desarrollos de mediciones de CO₂ en equipos embebidos al sensor MG811 sobre el MQ135. También es recomendable verificar las librerías de calibración para estos sensores y realizar ajustes para las curvas de sensibilidad.

Referencias

- Alex Koohang, Carol Springer Sargent, Jeretta Horn Nord, Joanna Paliszkievicz, (2022). Internet of Things (IoT): From awareness to continued use, *International Journal of Information Management*, Volume 62, 102442, ISSN 0268-4012, DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2021.102442.
- Hailiang Chen, Zhengqiu Zhu, Chuan Ai, Yong Zhao, Cheng He, Ming He, Bin Chen. (2022) Evaluating the mitigation strategies of COVID-19 by the application of the CO₂ emission data through high-resolution agent-based computational experiments, Volume 204, Part B, 112077, ISSN 0013-9351, DOI: 10.1016/j.envres.2021.112077.
- Marques, G., Ferreira, C. R., & Pitarma, R. (2019). Indoor Air Quality Assessment Using a CO₂ Monitoring System Based on Internet of Things. *Journal of medical systems*, 43(3), 67. DOI: 10.1007/s10916-019-1184-x.
- Taştan, Mehmet, and Hayrettin Gökozan. 2019. "Real-Time Monitoring of Indoor Air Quality with Internet of Things-Based E-Nose" *Applied Sciences* 9, no. 16: 3435. DOI: 10.3390/app9163435
- Toschke, Y. (2021). Distributed LoRa based CO₂ monitoring network - A standalone open source system for contagion prevention by controlled ventilation. DOI: 10.17605/OSF.IO/SNHFD.