

Sistema de monitoreo en tiempo real de gases CO, CO₂, NO_x y PM_{2,5} en la ciudad de Villavicencio.

Juan Alejandro Chica García
Ángel Alejandro Rodríguez Aya
Tecnología en Automatización Electrónica
Ingeniería Electrónica
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
juan.chica@unad.edu.co
angel.rodriguez@unad.edu.co

John Alejandro Figueredo Luna
Ramiro Hernán Polanco Contreras
Líder Zonal EBTI
Ciencias Básicas
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
john.figueredo@unad.edu.co
ramiro.polanco@unad.edu.co

Resumen – Este artículo corresponde al resultado del trabajo realizado por el conjunto de investigadores en diferentes proyectos de investigación afines, en temas relacionados con la medición de CO, CO₂, NO_x, material particulado PM_{2,5}, las aplicaciones para cada una de las investigaciones se enfocó según el caso, la primera de ellas fue el análisis de la afectación de estos gases en el los parqueaderos a subnivel y como se afectan las personas que transitan o trabajan en estos espacios, la segunda investigación su enfoque fue el análisis de las condiciones ambientales en 3 instituciones participantes en la misma ciudad, el tercer proyecto se enfocó en analizar y parametrizar un equipo basado en equipos patrones para la medición de las variables temperatura, humedad, CO, CO₂, NO_x, PM_{2,5}.

El desarrollo encontró que para los proyectos fueron utilizados elementos afines tanto en lo relacionado con la electrónica sensorica como con los elementos de control del sistema, estos fueron elementos fácilmente encontrados en el mercado y de bajo costo lo que permite garantizar el cambio eficiente de cada uno de ellos y la replicación de equipos ya que algunos de los proyectos consistían en

la implementación de varios sistemas de forma estática en diferentes puntos geográficos.

Palabras clave— sensores, bajo costo, variables, sistema de control.

Abstract— This paper is an outcome in different related research projects to measurement of CO, CO₂, NO_x, PM_{2.5} particulate matter; the first of them was the analysis effect of these gases in the sub-level parking lot's air quality and how people who transit or work in that spaces are affected; the second research focused in the analysis of the environmental conditions in 3 participating institutions in the same place, finally the third project designed a prototype similar on commercial equipment for measuring the variables temperature, humidity, CO, CO₂, NO_x, PM_{2.5}.

In general the all research were supported in sensorial electronics and the control elements of the system at low cost, which allows guaranteeing the efficient change of them in the same way their duplicity because some of methodologies was supported in install systems in a static way in different geographical points.

Keywords— sensors, low cost, variable, control system.

I. INTRODUCCIÓN

Los principales contaminantes se encuentran los CO_x, NO_x, y el ozono. El CO₂ es un gas incoloro, inodoro e incombustible que se encuentra en baja concentración en el aire que se respira (en torno a un 0,03% en volumen), se genera cuando se quema cualquier sustancia que contiene carbono, aunque también es un producto de la respiración y de la fermentación, tiene un gran impacto en el llamado efecto invernadero y su concentración ha aumentado en los últimos 160 años; si bien es cierto que el exceso del dióxido de carbono en el aire afecta a la salud, la concentración y el bienestar de la gente, éste no es tóxico, pero causa dificultad para la absorción del oxígeno y en alta concentración, dolores de cabeza y fatiga, de allí la importancia de medir su concentración especialmente en sitios como escuelas, universidades, hospitales y otras instituciones donde el valor del CO₂ siempre se debe de controlar por la cantidad de personas que están en dichos espacios. El presente trabajo realiza una revisión sistemática los documentos que durante la última década han hecho referencia a los procesos de monitoreo y medición de los impactos generados por este gas en espacios confinados particularmente parqueaderos tomando en cuenta la importancia que para la salud de trabajadores y visitante puede llegar a tener los niveles de concentración a los cuales se ven expuestos.

II. DESARROLLO DEL ANALISIS

A. Antecedentes

El municipio de Villavicencio cuenta con un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire; según el (IDEAM, 2018), en donde se instalaron tres estaciones de monitoreo, las cuales cuentan con tecnología de medición automática y tiempo de monitoreo permanente; en el barrio la Esmeralda

se realizan mediciones de PM10 (partículas menores a 10 micras), y en el Parque de la Vida COFREM y en el barrio Catumare mediciones de PM10 y O₃ (Ozono). Por su ubicación, estas estaciones miden la contaminación del aire en espacios abiertos, donde circulan en gran cantidad los emisores de material particulado de la ciudad, sin embargo, en espacios abiertos el aire fluye con gran velocidad, mientras que en espacios cerrados el proceso es más lento, por lo que el impacto de estos materiales es mayor en los últimos, y en estos espacios no se cuenta con monitoreo. Siendo la data de mediciones a aire abierto muy baja se tiene un proyecto encaminado a fortalecer el número de estaciones de medición en la ciudad, y teniendo en cuenta que no se tiene certeza de la medición en interiores se desarrolla un proyecto de investigación encaminado a reconocer las mediciones en cinco de las grandes superficies de la ciudad que poseen parqueaderos a subnivel, también se hizo una revisión sistemática en torno a los antecedentes relacionados con la medición y procedimientos llevados a cabo para este gas en espacios cerrados particularmente zonas de parqueo automotriz, esto a su vez encaminado a poder caracterizar el equipo de medición sensorica diseñado contra equipos certificados y equipos patrones.

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire presentes en la actualidad y más especialmente en Colombia, tienen gran complejidad desde la captación del dato hasta el envío a algún sistema de información, esto se debe a la necesidad de la intervención humana en este tipo de procesos; en su mayoría estos sistemas almacenan la información localmente y según la necesidad y el personal que realiza el monitoreo envía la información captada a la entidad que lo requiere; este proceso no facilita el conocimiento de los datos captados a los entes de control y las personas del común, sino que entorpece los procesos de las entidades gubernamentales que necesitan saber las condiciones ambientales de determinados sectores para la toma de decisiones de control. (Villate, 2017)

En su documento, (Duarte, 2018) tenía como objetivo analizar las emisiones atmosféricas

generadas por los vehículos de uso público (buses, busetas y microbuses) que forman parte del parque automotor del municipio Villavicencio-Meta, con el fin de investigar la relación entre las emisiones atmosféricas y la antigüedad de los vehículos que las producen; en función de este objetivo se relacionaron dos fuentes de información secundaria: la antigüedad de los vehículos representada por su modelo de fabricación y la medición de los gases contaminantes registrados en su revisión técnico mecánica; el desarrollo del proyecto precisó la recopilación de información de la secretaría de movilidad, con la cual fue posible verificar la cantidad total del parque automotor de la ciudad y específicamente los buses, microbuses y busetas registrados en Villavicencio, además, fue fundamental la contribución del Centro de Diagnóstico Automotor (CDA) el cual aportó al proyecto las mediciones de emisión de gases realizadas en la revisión técnico mecánica a los vehículos de estudio para este proyecto durante un periodo de cinco años (2012-2016); una vez adquirida la información, fue filtrada y organizada en bases de datos de manera que fuera posible identificar las variables en estudio y dar inicio al análisis estadístico implementando el software RStudio Desktop versión 1.0.153, luego del procesamiento de datos los resultados transcurridos cinco años de uso marcaron un aumento progresivo de las emisiones atmosféricas, alcanzando un crecimiento de hasta el 10% de opacidad en los vehículos de uso público.

Según (Triana, 2018) los parqueaderos cerrados de los centros comerciales de Villavicencio, al ser establecimientos abiertos a todo público donde es posible encontrar un flujo poblacional diverso, están altamente expuestos a gases tóxicos a causa de los automotores, en otras palabras, cabe la posibilidad de encontrar habitantes (quienes son más vulnerables) con distintas afecciones a la salud, desde cardíacas hasta respiratorias; a esto se suma la existencia de un personal de seguridad con prolongados tiempos de permanencia en el sitio, los cuales se encuentran expuestos constantemente, por lo que se hace necesario generar información para conocer el riesgo al que se encuentran expuestos, Si bien es cierto que existen sistemas de

medición de gases con tecnología libre diseñados con un conjunto de sensores de usos diversos, conectados a un microcontrolador, para procesar datos y dar el registro de niveles de gases como el ozono, monóxido de carbono, dióxido y parámetros ambientales como temperatura, los cuales son importantes en la vigilancia de la contaminación atmosférica, donde al igual se pueden utilizar sensores comerciales y su adquisición de datos es un reto debido a la falta de selectividad de la mayoría de los dispositivos existentes, pero superando el reto, estos sistemas pueden ser útil para el monitoreo de los niveles de contaminantes gaseosos en empresas, sitios cerrados y hasta ciudades medias, debido a que están integrados con sensores económicos, pequeños, de fácil adquisición y operación. (Barrios Melchor, 2014). Respecto al sistema de adquisición de datos de los sistemas de medición de gases contaminantes; es fundamental elegir un microcontrolador que cumpla con todas las características necesarias, el microcontrolador se encarga de gobernar uno o más procesos dentro del sistema, procesar y almacenar los datos (Saponara, Fanucci, & P, 2007)

B. Aplicación del sistema para la medición en lugares cerrados y de basa ventilación.

El diseño del sistema se baso en un equipo portátil compuesto por los siguientes elementos

Tabla 1. Elementos del sistema de medición

Elemento	Referencia
De entrada, sensores	MQ-7, MQ 135, mg 811
De control	Arduino nano
De salida	Shield SD card

En el desarrollo del prototipo inicial de medición se utilizaron sensores que se describirán a continuación:

Sensor MQ-7: es un sensor que mide monóxido de carbono CO, en partes por millón ppm entre 20 y 4000ppm, se hace su elección debido a su bajo costo inferior a 4 USD, al igual que a su oferta ya que puede ser encontrado en cualquier tienda de venta de elementos electrónicos (Encio, 2018).

Sensor MQ-135: es un sensor para la medición de calidad del aire, realizando la medición de concentraciones de amoníaco, sulfuro, veneno y humo, puede hacer la medición de concentraciones entre 10ppm y 1000ppm (Encio, 2018).

Sensor MG-811: este es un sensor para la medición de los niveles de CO₂, su costo dentro de los sensores elegidos es el mayor, estimado en 30 USD, maneja un rango de operación entre 350ppm y 10000ppm (Encio, 2018).

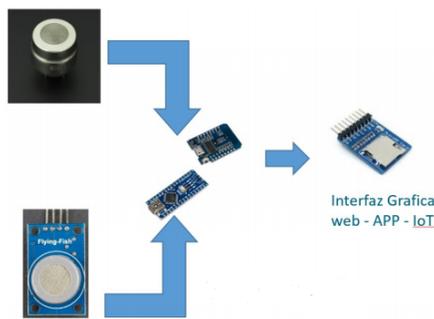


Figura 1. Diseño de sistema de medición inicial.

Como puede apreciarse en la figura el sistema es un diseño simple y de bajo costo, igualmente reduce al máximo la conectividad de los elementos electrónicos con el sistema de control, ya que se utilizaron conectores garantizando la movilidad de estos debido a las condiciones de alta humedad en las que se ubicaran los equipos de medición.

Inicialmente el equipo fue diseñado para guardar la información en una tarjeta MicroSD, sin embargo y acorde la investigación fue madurando fue necesaria la implementación de herramientas IoT, esto con el propósito de poder ser monitoreado en tiempo real por los interesados.

Luego para el proyecto mencionado se desidió hacer el muestreo en los cinco centros comerciales de grandes superficies de la ciudad, que cumplieran con la condición de tener parqueadero a subnivel.



Figura 2. Ubicación Centros Comerciales, Villavicencio.

Debido a la emergencia sanitaria tanto para el proyecto como para los otros dos es de tener en cuenta que debió detenerse el desarrollo de las mediciones, esperando retornar sobre el mes de noviembre del 2020.

C. Aplicación del sistema para la medición ambiental en zonas abiertas

Para el diseño de este sistema sin existir una comunicación entre los investigadores y estando en condiciones de tiempo y lugar cercanas se establecieron casi los mismos elementos de desarrollo en ingeniería, la principal diferencia entre estos elementos radica en que para este sistema fue una prioridad el uso de herramientas IoT desde el inicio del proyecto.

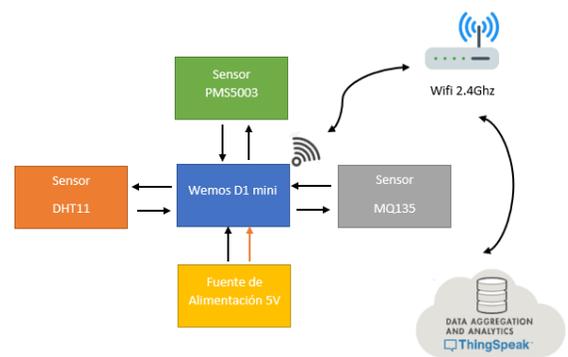


Figura 3. Esquema de bloques del sistema.

El desarrollo del proyecto que inicio durante la emergencia sanitaria debió ubicarse en locaciones cercanas, de fácil acceso y conectividad a fin de realizar un proceso de ajuste y seguimiento de los equipos de medición para cada una de las viables.

Para el caso fue elegido como un primer punto el hogar del investigador principal, esto con el fin de poder realizar el análisis de la funcionalidad del equipo y poder determinar posibles fallas e imprevistos del sistema. También fue elegido como punto de muestreo el



Figura 4. Ubicación estación 1, Corporación Universitaria Autónoma de Nariño – AUNAR.



Figura 5. Ubicación estación 2, Hacienda Rosablanca, Villavicencio.

Para el desarrollo de este proyecto en su etapa inicial se realizaron dos equipos de medición, sin embargo durante los meses de emergencia sanitaria se implementaron algunas estrategias dentro del semillero de investigación Renovatio y un grupo de tres estudiantes mas decidieron incluirse en el proyecto de investigación tomando una clase de nueve horas en las que desde sus hogares y asistidos vía web realizaron equipos de medición e integrándolos en un blog a fin de tener publica la información.

D. Análisis de equipo parametrización.

El desarrollo del equipo corrió por los integrantes de los proyectos iniciales, del análisis y la necesidad de conocer los alcances y características de eficiencia de los mismos, en el caso fue necesario el desarrollo de la medición y parametrización para cada uno de los sensores, al momento de postulación del presente artículo se había trabajando solamente el correspondiente a las mediciones de CO.

La caracterización del sensor se hizo de forma independiente al resto de sensores y se realizó la comparación con medidor de CO de laboratorio controlado en un espacio de un metro cubico aproximadamente, las condiciones de temperatura y humedad descritas por el fabricante buscan que su rango de operación se encuentre en 20°C y una humedad entre el 33% y 85% (Henao, 2010).

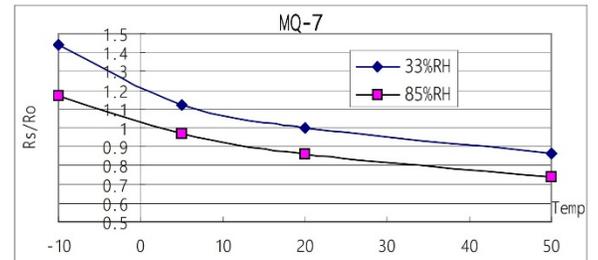


Figura 6. Dependencia típica del MQ-7 de la temperatura y la humedad.

Par los valores menores de 100 ppm se realizó el análisis de la información representado en la Figura 7, encontrando un índice de error aproximado de 18,42%, aunque es importante resaltar que no se espera tener un número significativo de mediciones dentro de estos rangos.

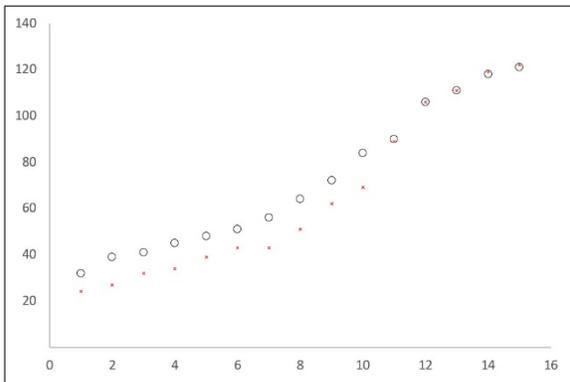


Figura 7. Comparación de registros menores a 120 ppm para MQ-7 y AQ-CO

Se tiene proyectado que para el análisis de estos valores menores a 100ppm de CO, se deberá realizar la adquisición de un sensor de mejor resolución al igual que costo ya que esto un factor relevante en el precio de compra.

III. CONCLUSIONES

Debe resaltar las aportaciones más importantes del trabajo de investigación. Una conclusión podría extender la importancia del trabajo o podría hacer pensar en aplicaciones y

REFERENCIAS

Aya, A. A. R., Luna, J. A. F., & García, J. A. C. (2018). Análisis del Potencial Energético Solar Basado en Mediciones in Situ en el Municipio de Acacias-Meta. *KnE Engineering*, 690-700.

CISCO. (24 de noviembre de 2017). Internet de las Cosas. Recuperado: https://www.cisco.com/c/es_co/solutions/internet-of-things/overview.html

Encio, CAB., Garcia, JAC., Cifuentes, J. (2018, November). Influence of man on the meteorological conditions of the CORONCORO wetlands located in the city of Villavicencio using multiparameter data logger and IoT technology. In 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI) (pp. 1-5). IEEE.

E. Rnchal. (2016). Estudio e implantación de un sistema ERP en una empresa. Tesis de maestría. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.

Grisales Soto, D., Henao Gutiérrez, J. J., Carvajal Orejuela, J. D., Cruz Bermúdez, C. D., & Aldana Otálora, P. A. (2018). Diseño de un parqueadero subterráneo en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Henao, S. A. F., Mosquera, J. D., & Mosquera, J. C. (2010). Análisis de emisiones de CO2 para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas. *Scientia et technica*, 2(45).

IAC. (24 de Julio de 2017). Ingeniería Asistida por Computador. Recuperado ¿Que es el IoT?: <http://www.iac.com.co/que-es-iot/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Informe Calidad del Aire. Recuperado: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/59-Resoluci%C3%B3n%20601%20de%202006%20-%20calidad%20del%20aire.pdf>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Protocolo Calidad del Aire. Recuperado: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Resolucion+650+de+2010+-+Adopci%C3%B3n+protocolo+calidad+del+aire.pdf/c8226844-b304-4d0a-89c3-1cf31bece2db>.

Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010). Ajuste Protocolo Calidad del Aire. Recuperado: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Resoluci%C3%B3n+2154+de+2010+-+Ajuste+Protocolo+Calidad+del+Aire.pdf/f6fefeae-d8fa-43d9-993c-9c057e2efe84>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2017). Niveles Calidad del Aire. Recuperado: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527>

[391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f.](#)

OECD (2001): OECD Environmental Outlook, OECD, Paris, Recuperado: <http://www.oecd.org/dataoecd/51/6/2088589.pdf>

Plantower. (2015). Plantower. Recuperado: <http://www.plantower.com/en/content/?108.html>

S. Hernandez, et al. (2010). de Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill. 4-16.

Serrano Stampa, J. (2016). Análisis y cuantificación del carbono almacenado en los parques y jardines de la ciudad de Valladolid.

Tata Center Air Quality. (20 de agosto de 2018). Hawai'i Vog Network. Recuperado Tata Center Air Quality: <https://tatacenter-airquality.mit.edu/hawaii-vog>

Tata Center Air Quality. (25 de agosto de 2018). Tata Center Air Quality. Recuperado <https://tatacenter-airquality.mit.edu/about>

Wemos. (2019). Wemos D1 mini. Recuperado: https://docs.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html.

World Health Organization. (1979). Air monitoring programme design for urban and industrial areas. Organización Panamericana de la Salud. vol. 33 n° 371. 1-46.