

## Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino

### Construction of an electrochemical sensor to determine polluting gases in the air (CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>), using an Arduino board

LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa†\*, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando

*Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México. Depto. Ingeniería Ambiental, Paraje San Isidro S/N, Barrio de Tecamachalco, Los Reyes La Paz, Estado de México. C.P. 56400, México.*

*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Dpto. de Química. Av. Michoacán y la Purísima, Col. Vicentina. C.P. 09340, México.*

*Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Depto. de Ciencias Básicas. Av. San Pablo 180, Reynosa Tamaulipas, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02200, CDMX, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Maria Luisa, Lozano-Camargo* / ORC ID: 0000-0002-0777-6392, CVU CONACYT ID: 46638

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Christian Hugo, Rodríguez-Gómez* / ORC ID: 0000-0003-3187-8847

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Laura, Galicia-Luis* / CVU CONACYT ID: 120121

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Fernando, Talavera-Romero* / ORC ID: 0000-0001-7801-2050

DOI: 10.35429/JTO.2020.14.4.1.5

Recibido 10 de Julio, 2020, Aceptado, 30 de Diciembre, 2020

#### Resumen

A medida que la humanidad evoluciona, se ha incrementado la contaminación del aire por las diversas actividades antropogénicas que el hombre realiza, enamando emisiones de gases y partículas contaminantes al ambiente, afectando gravemente la salud de los seres vivos y del planeta, ya que estos ocasionan alteraciones físicas y químicas en el entorno de manera irreversible, convirtiéndose en un gran problema a nivel mundial. En México existen estaciones meteorológicas que miden la calidad del aire y sólo se encuentran en puntos fijos, sin embargo, no alcanzan a cubrir todas las zonas del Estado de México, el deterioro de la calidad del aire trae consigo el incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares; es por ello, que este proyecto tiene como objetivo principal construir sensor electroquímico portátil mediante una placa de Arduino, usando un software personalizable capaz de cuantificar y analizar tres gases contaminantes CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, en especial en el municipio de Chimalhuacán ubicado en la zona Oriente del Estado de México.

**Sensor electroquímico, Arduino, Contaminantes del aire**

#### Abstract

As humanity evolves, air pollution has increased due to the various anthropogenic activities that man carries out, alienating emissions of gases and polluting particles to the environment, seriously affecting the health of living beings and the planet, since these cause Irreversible physical and chemical alterations in the environment, becoming a major problem worldwide. In Mexico there are meteorological stations that measure air quality and they are only found at fixed points, however, they do not cover all areas of the State of Mexico, the deterioration of air quality brings with it an increase in respiratory and cardiovascular diseases ; That is why this project's main objective is to build a portable electrochemical sensor using an Arduino board, using customizable software capable of quantifying and analyzing three polluting gases CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, especially in the municipality of Chimalhuacán located in the area East of the State of México.

**Electrochemical sensor, Arduino, Air pollutants**

**Citación:** LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando. Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-14:1-5.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: maria.lozano@tesoem.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En los últimos años debido a las diversas actividades antropogénicas e industriales realizadas por el ser humano aumentado drásticamente la contaminación del aire y está llegando a un punto crítico, ya que se tiene un incremento de emisiones a la atmósfera de manera exponencial que causan el efecto invernadero (GEI) (INECC, 2016), ocasionado exista un deterioro en la calidad del aire por la presencia de sustancias tóxicas que impactan gravemente al medio ambiente y la salud de los seres vivos, los gases y partículas contaminantes a incrementado las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y los problemas de cáncer. Actualmente no se tienen datos estadísticos en diversas zonas de CDMX y/o Estado de México (Greatbatch, 2000), aún cuando se cuentan con estaciones meteorológicas que miden la calidad del aire en tiempo real en la mayoría de la población desde los años 90's (SEMARNAT. (2013), pero aún existen poblaciones y/o municipios donde no se lleva a cabo un monitoreo en la calidad del aire, y los cuales requieren ser monitoreados porque existir muchas industrias asentadas en zonas habitacionales que causan efectos adversos en la salud de los pobladores y al medio ambiente.

Desde 2006, se calcula el Índice de Calidad del Aire (IMECA), con fundamento en Norma Ambiental NADF-009-2006. Recientemente dicha norma fue actualizada en 2018 (*Gaceta Oficial de la CDMX*, 2018) y en ella, se establecen los requisitos para el cálculo y la difusión del Índice de Calidad del Aire vigente, (SEMARNAT, 2013).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS; WHO por sus siglas en inglés), en 2012 la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% de cáncer de pulmón; 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y alrededor de 3% por infección respiratoria aguda). La mayor parte, cerca del 70%, ocurrió en los países de la región Pacífico occidental y el sureste de Asia (1.67 millones y 936 mil muertes, respectivamente). Sin embargo, en el continente americano se registraron cerca de 58 mil decesos (UNICEF, WHO, 2015).

Mark Nieuwenhuijsen, del Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental en Barcelona (CREAL), es uno de estos investigadores que está utilizando monitores portátiles para medir y mapear la contaminación del aire en formas que antes eran imposibles. -- El actual método utilizado para medir la contaminación del aire en las ciudades es poner un monitor de contaminación del aire en algún lugar de la ciudad y asumir que todos estamos expuestos a ese nivel de contaminación del aire--.

Recientemente podemos investigar acerca de otros dispositivos propuestos, como el sistema computarizado de censado de gases contaminantes (Granados et., 2016), el cual se encarga de la detección y cuantificación de sustancias contaminantes. El tema se llevó a cabo utilizando sensores de la familia MQ y dos interfaces NI 6008, además de adicionarlo para su posterior lectura con un software llamado LabVIEW, con esto elementos se pudo construir una estación de monitoreo ambiental computarizada; el sistema es totalmente portátil y se puede realizar las lecturas en cualquier estado climatológico a la que este expuesto el dispositivo.

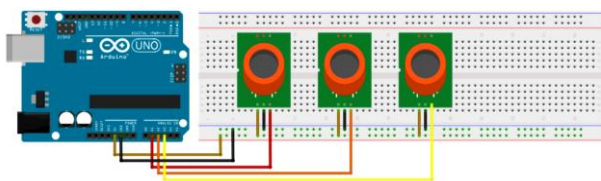
Por lo antes, mencionado este proyecto tiene como finalidad construir un dispositivo como sensor electroquímico integrado con una tarjeta de Arduino.

## Metodología por desarrollar

### Sensor Electroquímico

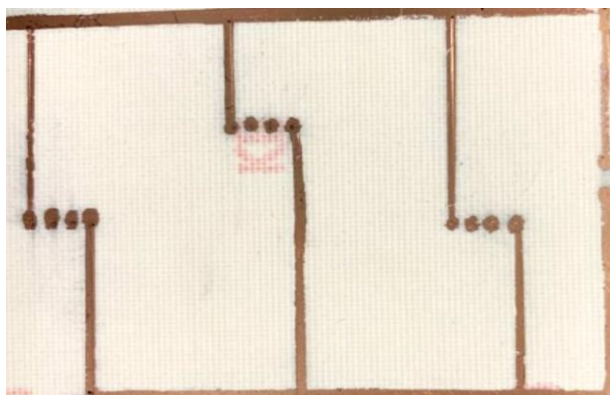
La construcción del dispositivo se realizó, empleando dos programas, uno para modelar el sistema eléctrico en Arduino y obtener el PCB final mediante Fritzing, y un programa de instrumentación para la realización y ejecución del lenguaje de programación se utilizó LabView.

Para el modelado del diseño electrónico en Fritzing, se eligieron 3 sensores para monitorear los gases contaminantes de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, este fue desarrollado con una fuente de alimentación (VCC), la cual tiene como función mandar la señal eléctrica a los sensores, así como tres salidas a tierra (GND) y los tres canales análogos (AO) que sirven para convertir la lectura analógica a digital, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1** Diseño digital del ensamblaje de los sensores (proto-board) en Fritzing

Una vez obtenida la vista del protoboard, que permite simular el circuito virtual exactamente de la misma forma en que se verá el circuito real, una vez obtenido el diseño final en Fritzing, se adhirió a la placa de cobre, posteriormente se introdujo en un recipiente con cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), con la finalidad de desbastar el cobre contenido en la placa y posteriormente ejecutar la conexión correspondiente de los sensores soldando de manera cuidadosa para evitar desprendimientos futuros de los circuitos como se muestra en la figura 2.

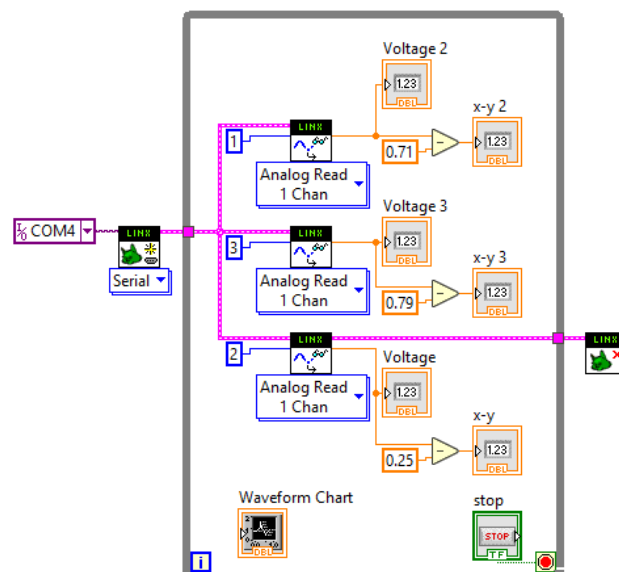


**Figura 2** Circuito impreso desde la vista de (PCB) Fritzing en la placa de cobre

Una vez soldado todo el circuito se incorporaron los sensores conectados directamente en la placa de Arduino, y se integró con el software LabVIEW, para el lenguaje de tipográfico facilitando la parte de programación, utilizando una fuente de alimentación de 5V.

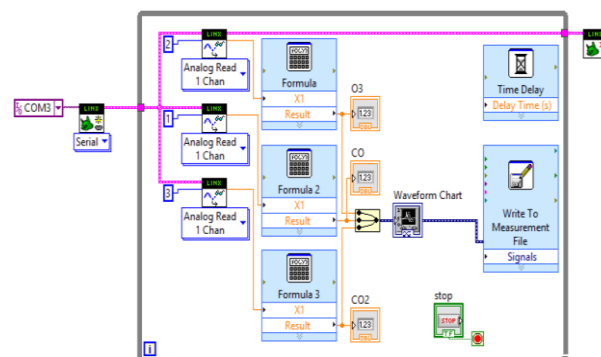
### Programación

El sistema de programación se realizó empleando LabVIEW, desarrollando dos diferentes programas uno para calibrar los sensores como se muestra en la figura 3, y el otro para obtener la lectura de estos mismos como se observa en la figura 4.



**Figura 3** Diagrama de bloques en LabView para calibración de sensores

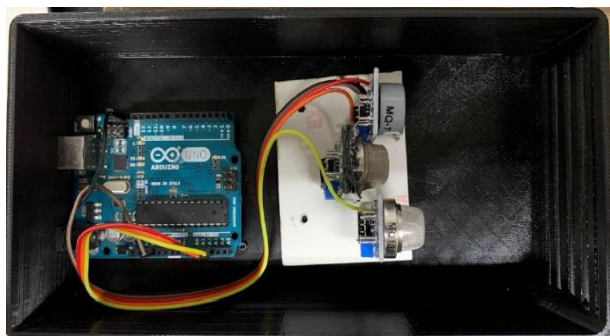
La calibración de los sensores se realizó con gas helio ( $\text{He}$ ), ya que este no reacciona con los sensores.



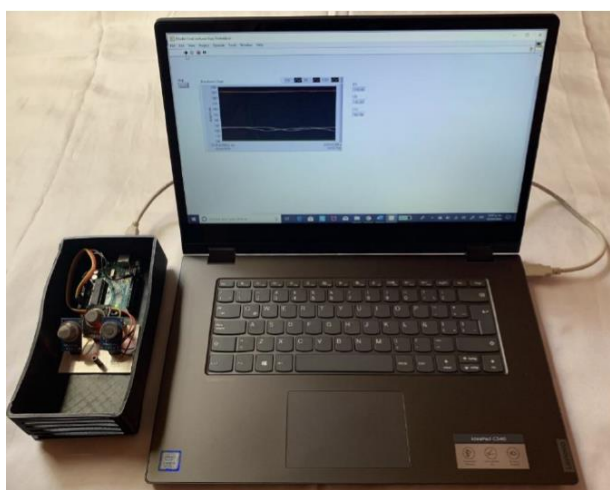
**Figura 4** Diagrama de bloques en LabView para lecturas de sensores

### Resultados

Una vez construido el sensor electroquímico que pertenece a la familia MQ, adheridos a la placa de Arduino se instaló dentro de una caja de plástico en una impresora 3D, como se observa en la figura 5, donde se observa todo el montaje del dispositivo, así como el dispositivo ya conectado en una PC para realizar los primeros monitoreos (ver figura 6).

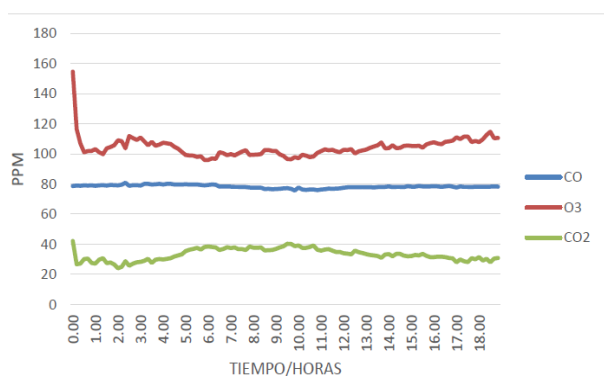


**Figura 5** Prototipo final del dispositivo para la medición de los gases contaminantes (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>)



**Figura 6** Montaje final de la estación de monitoreo

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del sensor electroquímico, se monitorearon los gases de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, durante 4 semanas en el periodo de diciembre 2019 a enero 2020 en el municipio de Chimalhuacán, en el gráfico 1, se muestran los datos obtenidos de manera mensual, siendo similares a los obtenidos con otros dispositivos comerciales tales como: ETL ONE, Series 500 IAQ, los cuales emplean un software @COM300 (data dowland), Windows 7, 8 y XP.



**Gráfico 1** Monitoreo de los gases CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, mensual en el periodo diciembre 16/2019 – enero 12/2020

En la tabla 1, se muestran los datos estadísticos del monitoreo realizado por semana y mensualmente reportados en ppm.

Gas	Promedio por semana/ppm				Mensual
	1	2	3	4	
CO	88.09	69.58	80.25	76.39	78.58
CO <sub>2</sub>	63.08	106.21	108.47	125.21	100.75
O <sub>3</sub>	45.97	23.67	37.45	28.59	33.92

**Tabla 1** Promedios obtenidos del monitoreo realizado semanal y mensualmente a los gases CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en ppm

### Agradecimiento

Al Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México por brindar todas las facilidades para llevar a cabo esta investigación.

A la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa y Azcapotzalco por el apoyo brindado en sus instalaciones para la construcción del sensor electroquímico.

### Conclusiones

Se logró construir un sensor electroquímico en una tarjeta de Arduino, portátil, estético, ligero, a bajo costo, es escalable ya que se le pueden adaptar otros sensores y se pueden realizar mejoras continuas en el diseño y programación.

Su utilización fue muy fácil, versátil y eficiente, permitiendo obtener datos precisos y confiables.

Finalmente se puede decir que el dispositivo es funcional y es una buena opción no sólo para la aportación tecnológica propuesta por un proyecto, sino que también, se podría postular oficialmente como una estación de monitoreo móvil.

### Referencias

*Gaceta Oficial de la CDMX* (14 de noviembre de 2018), Gobierno de la Ciudad de México, Obtenido de Norma Ambiental NADF-009-AIRE-2017, que establece los requisitos para el índice de la calidad del Aire en la CDMX: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NADF-009-AIRE-2017.pdf>.

Granados, S., Tavera, R. F., Calzadilla, A. O., & Medina Tovar, L. L. (2016), Sistema computarizado de censado de gases contaminantes

Greatbatch, D. T. (2000), Multidecadal Thermohaline Circulation Variability Driven by Atmospheric Surface Flux Forcing. United Kingdom: American Metereological Society

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Informe Nacional de Calidad del aire (2017), México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. Diciembre 2018.

SEMARNAT, (2013). Calidad del aire: Una práctica de vida, México.

UNICEF, WHO, (2015). Progress on sanitation and drinking water. USA: Update and MDG assessment