

## IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO COMO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Marco Antonio Quintero Mercado,

[maquinterom@gmail.com](mailto:maquinterom@gmail.com)

Juan Carlos Herrera Lozada,

[jlozada@ipn.mx](mailto:jlozada@ipn.mx)

Miguel Hernández Bolaños,

[mbolanos@ipn.mx](mailto:mbolanos@ipn.mx)

IPN CIDETEC

Instituto Politécnico Nacional

Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo

### Abstract

*Dado que la contaminación de aire llegó a ser un gran problema para las megaurbes causando un gran impacto perjudicial a la salud, se requiere de indicadores para poder controlar las emisiones de los contaminantes y prevenir el desequilibrio de la mezcla gaseosa del aire. En este proyecto, haciendo uso de las nuevas tecnologías, se presenta una alternativa para la medición de la calidad del aire. Se realizó un módulo electrónico portátil, implementando a un Sistema Embebido (SE) sensores electroquímicos especializados de los principales contaminantes, los cuales son: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>) y Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Los datos son transmitidos mediante radiofrecuencia a un equipo de cómputo, con la finalidad de realizar la conversión a la escala del IMECA basado en la Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006.*

### Introducción

La alteración del aire provocada por el hombre es una problemática que existe no solo en la Ciudad de México sino en todas las grandes ciudades del mundo. Esto afecta en gran medida a la salud de los seres vivos, es por ello que se requieren de mecanismos para informar de manera adecuada y oportuna sobre los niveles de contaminación y su variación en el transcurso del tiempo, con el fin apoyar a la formulación de políticas ambientales y así proteger la salud de los que habitamos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) [1].

En la ZMVM existen solamente 45 estaciones de monitoreo que utilizan el Índice Metropolitano de Calidad del Aire, IMECA. Este se representa en una escala que va de 0 a 500 y se divide en cinco categorías que señalan el nivel de riesgo para la salud: de “buena” calidad de aire a “extremadamente mala”. Las actuales estaciones de monitoreo están dispersas en un área de 1,486.55 Km<sup>2</sup> donde la población es de 21.1 millones de personas y el parque vehicular ha aumentado a 5.3 millones siendo que más del 80% es de uso particular [2].

El crecimiento habitacional e industrial ha provocado que un gran número de habitantes experimenten niveles de exposición que están por encima de la norma.

Por este motivo, resulta necesario complementar las mediciones rutinarias ambientales con mediciones realizadas en diferentes escenarios como: lugares cerrados (inmuebles), en el flujo vehicular (en las zonas de mayor afluencia vehicular) y dentro de la industria (con mayor énfasis en plantas generadoras de energía eléctrica), en la

Figura 1 se muestra la contribución de emisiones contaminantes por sector.

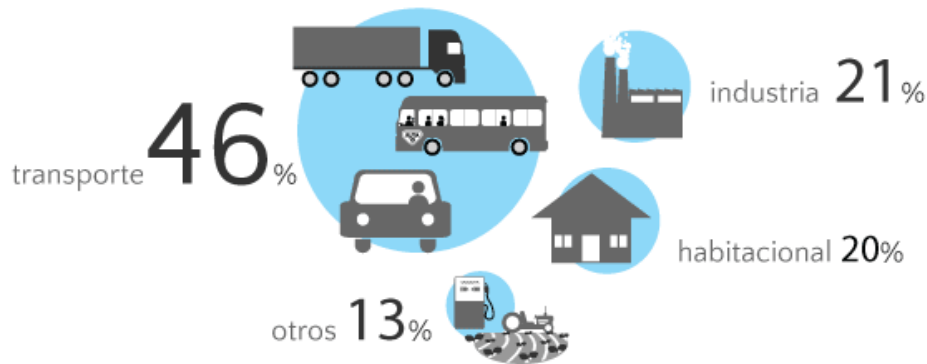


Figura 1. Contribución de emisiones contaminantes por sector [3]

Así mismo la problemática de mantenimiento que en ocasiones ha dejado a algunas estaciones inactivas hasta por 6 meses [2] y el elevado costo por unidad hacen necesaria la búsqueda de alternativas de la medición de la calidad del aire.

### Componentes electrónicos

Para realizar dicho dispositivo de medición se requirió de algunos componentes electrónicos que a continuación se describirán.

Tarjeta de desarrollo MSP430 Launchpad: De muy bajo consumo de energía y costo, el cual alberga un microcontrolador con 16KB de Flash, 512B de RAM, CPU a 16MHz entre los puertos cuenta con 2 botones (1 programable y otro de reset), 3 LEDs (2 programables y 1 de encendido), 20 pin de entrada/salida (tales como 8 canales de ADC de 10 bits), temporalizadores, comunicación en serie (UART, I2C y SPI). Tiene una conexión USB que permite descarga y depuración de programas directamente en el microcontrolador. Se pueden añadir módulos para su mayor funcionalidad como tarjetas inalámbricas, pantallas, etc. Para el desarrollo de aplicaciones se cuenta con las herramientas de desarrollo: CCS Cloud IDE, IAR Embedded Workbench, Code Composer Studio y Eclipse basado en Code Composer Studio. Su precio aproximado de \$550.00.

Sensores Electroquímicos: Son un tipo de sensores de gases formados por dos electrodos sumergidos en un medio electrolítico común. Durante el funcionamiento, un voltaje polarizado es aplicado a los electrodos y cuando el gas penetra en el sensor una reacción redox (reacción de reducción oxidación), genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas. Los sensores electroquímicos son compactos, requieren muy poca energía, tienen una larga vida útil, normalmente de uno a tres años. Poseen un rápido tiempo de respuesta. Un sensor

detecta más de un solo gas contaminante. Entre este tipo de sensores están el MQ07 (CO) y el MQ136 (SO2). Su precio aproximado es de \$100.00.

Sensores Semiconductores: Este sensor fabricado con materiales semiconductores, opera por la propiedad de adsorción de gas, en la superficie de un óxido calentado, depositado en la base de un sílice. La absorción de la muestra de gas en la superficie del óxido, seguida de una oxidación catalítica, termina en un cambio de la resistencia eléctrica del material oxidado, que puede relacionarse con la concentración del gas.

Entre este tipo de sensores está el MQ131 (O3 y NO3). Su precio aproximado es de \$600.00.

Sensor de partículas: Es un sensor que detecta y cuenta partículas, existen varios métodos de detección, uno de ellos es el basado en bloqueo de la luz. Este método es útil para detectar y dimensionar partículas. Y se basa en la cantidad de luz que bloquean las partículas, al pasar por la zona de detección del mismo. El usado es el ZPH01 (PM2.5 y PM10). Su precio aproximado es de \$300.00.

### Metodología

Para el desarrollo del proyecto se identificaron 7 etapas, que se muestran en la Figura 2:



Figura 2. Etapas de proceso

1. Investigación del área normativa del IMECA. Se acoto la búsqueda en información únicamente con la metodología y rangos de contaminación que son usados en nuestro país. Entre dichas normas están las NOM de salud ambiental que establece los límites permisibles para los contaminantes, las NOM técnicas que definen los métodos de medición de los contaminantes, la NADF-009-AIRE-2006 establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) y la NOM-156-SEMARNAT-2012 que regula el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo en la calidad del aire.

2. Adquisición de sensores electroquímicos, comparando precio y calidad. En el mercado existe una gran variedad de sensores, se realizó la selección de los mismos basándose en el costo, el rango de medición y tiempo de vida.
3. Integración de sensores y componentes electrónicos a un sistema embebido. Es importante contemplar las características del SE que se desee utilizar para que sea compatible con los diversos sensores a adquirir, entre las más relevantes son el número de puertos disponibles y tipo de los mismos.
4. Implementación de un sistema de comunicación de radiofrecuencia para la transmisión de lecturas a un algoritmo intérprete. Muchos SE ya cuentan con el dispositivo de bluetooth o WI-FI. Sin embargo el usado en este trabajo no lo tiene integrado por lo cual se anexa el módulo ESP8266 WiFi. Para permitir la conexión inalámbrica con el portátil que funciona como servidor.
5. Elaboración de algoritmo intérprete incluyendo la conversión de lecturas adecuando los resultados al estándar del IMECA. En esta etapa se realizan los cálculos de conversión, las lecturas tomadas por los sensores se escalan a los rangos establecidos en la normatividad.
6. Elaboración de base de datos para el almacenamiento de información. Todas las lecturas tomadas se almacenan para uso posterior, como para realizar estadísticas por contaminante y horario.
7. Evaluación del sistema implementado mediante el comparativo de los resultados con los datos de las estaciones de monitoreo fijas.

### **Conclusiones**

El modulo se encuentra aún en prototipo. Sin embargo, realizando los comparativos con el sistema de medición actual los resultados son muy similares. La gran ventaja de este módulo es su portabilidad ya que se puede usar en las zonas donde actualmente no hay estaciones de monitoreo. Así mismo se demuestra que la tecnología puede ser aplicada para el beneficio ambiental.

## Referencias

- [1] *NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-009-AIRE-2006, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA ELABORAR EL ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE.*, 2006.
- [2] Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, «Calidad del aire en la Ciudad de México informe 2014,» Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico, México, D. F., 2015.
- [3] Sistema de Monitoreo Atmosferico, Ciudad de México, «AIRE, CDMX,» [En línea]. Available: <http://www.aire.cdmx.gob.mx>. [Último acceso: 01 06 2016].