

## *Propuesta de una estación móvil para la medición de la calidad del aire con el Internet de las Cosas*

### *A proposal of a mobile station for air quality measurement with Internet of Things*

Rodrigo Vázquez López\*,  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico  
en Cómputo (CIDETEC), México  
[rvazquez1800@ipn.mx](mailto:rvazquez1800@ipn.mx)

Juan Carlos Herrera Lozada,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Lerma, Departamento de Procesos Productivos, México  
[jlozada@ipn.mx](mailto:jlozada@ipn.mx)

Jacobo Sandoval Gutiérrez,  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Lerma, Departamento de Procesos Productivos, México  
[j.sandoval@correo.ler.uam.mx](mailto:j.sandoval@correo.ler.uam.mx)

Recibido 30, junio, 2019

Aceptado 01, noviembre, 2019

#### **Resumen**

Existen sistemas estacionarios de medición de la calidad del aire en las grandes ciudades del mundo, las cuales no son suficientes para cubrir a todo el territorio, como en el caso de la Ciudad de México existen zonas habitacionales populares que tienen un alto grado de hacinamiento y por ende su nivel de contaminación está por arriba del promedio de la región, dicho problema se pretende resolver al realizar un sistema de medición móvil que evite estar confinada a un solo punto de medición y que pueda ser llevados a los lugares más críticos, por ello, el objetivo de la investigación es realizar una estación móvil de medición de la calidad del aire, utilizando la tecnología del internet de las cosas para informar de los altos índices de contaminación; la metodología propone el desarrollo de la instrumentación (Sensores de Presión, UV, temperatura), de una plataforma (Raspberry), una gestión de información personalizada y de una arquitectura abierta (NODE-RED, [cbi.ler.uam.mx](http://cbi.ler.uam.mx)). Los resultados obtenidos hasta el momento han permitido validar la plataforma y el correcto envío de los datos considerando otros sistemas de estaciones fijas, con ello, el aporte de la investigación hasta el momento ha permitido implementar cuatro variables de referencia, para hacer las comparaciones generales con las estaciones comerciales y tradicionales que no son accesibles y escasas.

Palabras clave: Internet de las Cosas, Calidad del Aire, Contaminación.

#### **Abstract**

*There are stationary air quality monitoring systems in the world's largest cities which are not enough to cover the whole territory. In the case of Mexico City, there are popular housing areas that have a high level of overcrowding and, consequently, pollution is above the average. This problem must be solved by creating a mobile monitoring system that avoids limiting itself to a single measurement point or taking it to the most critical places. Therefore, the objective of the research is to create a mobile station to measure air quality, using the Internet of Things technology in order to report on high levels of pollution; The methodology proposes the development of instrumentation (pressure sensors, UV, temperature, humidity), a platform*

*(Raspberry), a personalized information management and an open architecture (NODE-RED, cbi.ler.uam.mx). The results obtained have allowed the validation of the platform and the correct sending of the data considering other systems of stationary stations, with this, the contribution of the research has allowed the implementation of four reference variables, to make general comparisons with commercial and traditional stations that are not accessible and limited.*

*Keywords: Internet of Things, air quality, pollution.*

## 1. INTRODUCCIÓN

**E**l nivel alto de contaminación en las grandes ciudades se ha convertido en un gran problema a nivel mundial. Se estima que 90% de las personas de todo el mundo respiran aire contaminado, lo cual implica la muerte de siete millones de personas al año debido a la exposición a las partículas contenidas en el aire (OMS, 2018), que penetran en los pulmones y en el sistema cardiovascular. La mala calidad del aire y la exposición a sus diversos contaminantes se relaciona con la aparición de enfermedades cardiorrespiratorias, asma y ciertos tipos de cáncer (Araujo Pulido, 2010).

En la Ciudad de México el monitoreo de la calidad del aire se realiza por medio de cuarenta estaciones distribuidas en la Zona Metropolitana del Valle de México (SEDEMA, s.f.). Dichas estaciones no son suficientes para cubrir todo el territorio de la ciudad, considerando que hay lugares con hacinamiento como en las zonas habitacionales populares que pueden generar condiciones de estrés en los habitantes debido al aumento de la contaminación y la aparición de focos de infección (Urbina Soria, 1988).

El internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) es una nueva tecnología que consta de una red de sensores y máquinas capaces de interactuar entre sí (Lee & Lee, 2015), dicha tecnología permite el intercambio de información generando una red de dispositivos inteligentes con la finalidad de gestionar y mejorar la calidad de los servicios públicos, infraestructura y actividades comerciales (Telefónica F., 2011). Es posible, encontrar ejemplos de aplicaciones que utilizan IoT como paradigma de diseño en gestión de granjas (Raghubathesh, y otros, 2017) y sistemas de monitoreo de la calidad del aire (Alshamsi, *et al*, 2017).

Dentro de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire orientados a IoT, encontramos trabajos con diversos tipos de enfoques, por ejemplo, inicialmente aquellos cuyo objetivo principal es la construcción de redes inalámbricas de sensores para la medición de contaminantes en espacios abiertos (Kadri, Yaacoub, Mushtaha, & Abu-Dayya, 2013) o en interiores (Sherin & Li, 2014).

Trabajos recientes se enfocan en el desarrollo de equipos de medición utilizando plataformas de arquitectura abierta como Raspberry Pi (Kumar & Jasuja, 2017) y Arduino (Gehlot, y otros, 2018).

Por otra parte, se han reportado sistemas de medición enfocados al cálculo del índice de la calidad del aire en interiores y espacios en donde habiten personas de la tercera edad o con capacidades diferentes (Gugliermetti & Astiaso Garcia, 2018). En cuanto a los alcances de las investigaciones, se observan trabajos cuyo enfoque es el análisis en tiempo real de las variables medidas utilizando herramientas estadísticas (Enigella & Shahnasser, 2018) y estudios sobre la relación entre ruido y contaminación ambiental con la finalidad de obtener resultados que en el futuro permitan mejorar la toma de decisiones acerca de la mejor zona para habitar (Alowaidi, Karime, Aljaafrah, & Saddik, 2018).

El propósito de la investigación es desarrollar una estación móvil utilizando sensores de bajo costo, arquitecturas abiertas e incorporando la tecnología del IoT para informar sobre los altos índices de contaminación. El desarrollo del prototipo se realizó utilizando una metodología que divide el diseño de la estación móvil en tres etapas importantes: definición de entradas, etapa de procesamiento y salidas. En este trabajo se reportan los avances obtenidos en el desarrollo de la investigación con la finalidad de demostrar su viabilidad.

La estructura del documento es la siguiente: la primera sección muestra una revisión del estado del arte, en la sección de métodos y materiales se presenta la metodología, el desarrollo y la construcción del prototipo. Finalmente, se presenta la discusión de los avances presentados y las conclusiones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para el desarrollo del trabajo se divide en tres partes:

1. Definición de entradas: Se identifican las variables físicas y se seleccionan los sensores adecuados para el entorno de trabajo.
2. Etapa de procesamiento: Se define el procesador maestro y esclavo (en caso de ser necesario) y el tipo de comunicación entre ellos. En esta etapa se elige y prepara la plataforma de IoT seleccionada.
3. Salidas: Se define la forma de visualización, tratamiento e interacción de los datos.

A continuación, se presenta la aplicación de la metodología en el desarrollo de la estación móvil para la medición de la calidad del aire con el Internet de las Cosas.

Definición de entradas. Se consideraron cuatro variables iniciales  $x_{\alpha,a}$ ,  $x_{\alpha,b}$ ,  $x_{\alpha,c}$  y  $x_{\alpha,d}$  tal que, el subíndice con letra griega ( $\alpha$ ) representa el identificador único para cada estación y el subíndice en minúscula (a, c, b, d) la variable medida.

Donde,  $x_{\alpha,a}$ : presión atmosférica,  $x_{\alpha,b}$ : temperatura ambiente,  $x_{\alpha,c}$ : humedad y  $x_{\alpha,d}$ : índice de rayos UV.

Se eligieron los sensores de bajo costo cuya exactitud fuera igual o menor a  $\pm 1$  unidad de medida. La elección de estas variables permite comparar los resultados de las mediciones de los sensores con mediciones de instrumentos patrón o datos obtenidos de estaciones ambientales.

Los sensores seleccionados y sus características son las siguientes:

- BMP180 para  $x_{\alpha,a}$ : Sensor digital de presión barométrica (Figura 1a). Sus principales características son el bajo consumo energético (3.3 V de alimentación y consumo de corriente de 32  $\mu$ A) y alta resolución (300 – 1100 hPa  $\pm$  0.12 hPa) (Sensortec, 2013). Utiliza la interfaz de conexión I<sup>2</sup>C y no requiere calibración.
- DHT22 para  $x_{\alpha,b}$  y  $x_{\alpha,c}$ : Sensor digital de temperatura ambiente y humedad relativa (Figura 1b). El rango de medición de temperatura es de  $-40$  a  $80^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y de 0 a 99.9%  $\pm$  2% de humedad relativa (Liu, 2013). La resolución del sensor es de 16 bits y tiempo de muestreo de aproximadamente 2 segundos. No requiere calibración.
- SEN0162 para  $x_{\alpha,d}$ : Sensor analógico rayos UV (Figura 1c). Detecta formas de onda de entre 200 – 370 nm y permite la obtención de manera rápida del valor equivalente del índice de rayos UV (DFRobot, 2016). El sensor tiene una resolución de  $\pm 1$  unidad en la escala del índice. No requiere calibración.

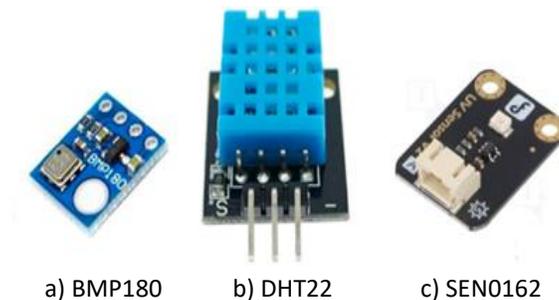


Figura 1. Sensores elegidos para las variables de entrada a)  $x_{\alpha,a}$  b)  $x_{\alpha,b}$  y  $x_{\alpha,c}$  c)  $x_{\alpha,d}$

Los sensores elegidos vienen calibrados de fábrica y se presentan en módulos que integran los componentes necesarios para facilitar la conexión con cualquier microcontrolador, por lo que no se requiere un proceso adicional de acondicionamiento de la señal. La Tabla 1 resume las principales características de los sensores.

**Tabla 1.** Características de los sensores elegidos

Variable	Sensor	Tipo	Rango de medición
Presión atmosférica ( $x_{\alpha,a}$ )	BMP180	Sensor digital	300 a 1100 $hPa \pm 0.12 hPa$
Temperatura y humedad ( $x_{\alpha,b}$ ) y ( $x_{\alpha,c}$ )	DHT22	Sensor digital	-40 a 80°C $\pm 0.5^\circ C$ (temperatura) 0 a 99.9% $\pm 2\%$ (humedad)
Índice UV ( $x_{\alpha,d}$ )	SEN0162	Sensor analógico	0 a 11 en la escala del índice de rayos UV

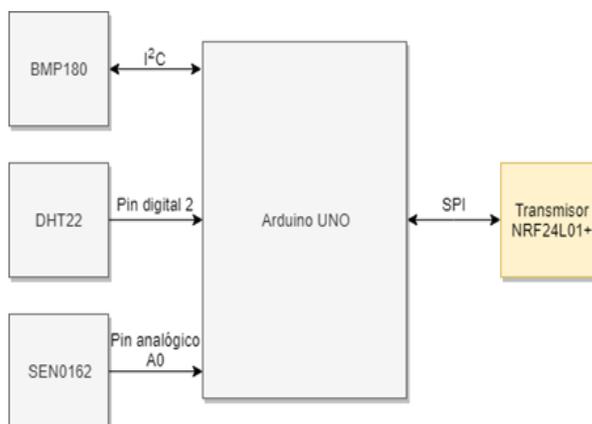
#### Etapa de Procesamiento

Dado el funcionamiento y las distintas interfaces de conexión por parte de cada sensor, se seleccionó la placa Arduino UNO (Figura 2), Arduino es una placa de desarrollo de bajo costo y de arquitectura abierta enfocada en la construcción de prototipos. La facilidad de uso del entorno de desarrollo y del lenguaje de programación permite acelerar el desarrollo de aplicaciones (Arduino, 2015). Los recursos técnicos que ofrece Arduino dependen del modelo de placa seleccionado. Para el caso de la placa Arduino UNO, esta incluye un microcontrolador ATmega328P el cual funciona a 16 MHz y cuenta con 2 KB de memoria RAM y 32 KB de memoria de programa. La interacción de la placa con dispositivos externos (sensores y actuadores) se hace por medio 14 entradas y salidas digitales, 6 salidas PWM y un convertidor analógico-digital de entradas.



**Figura 2.** Arduino UNO.

La Figura 3 muestra el diagrama de bloques del circuito de adquisición de datos en el cual se observa la interacción de los sensores con Arduino. La conexión de dichos sensores se realiza por medio de tres diferentes interfaces de comunicación: I<sup>2</sup>C (sensor de presión), digital (sensor de temperatura y humedad) y analógica (sensor de rayos UV). Adicionalmente se utiliza la interfaz SPI para la comunicación al módulo NRF24L01+, el cual se encarga de transmitir las lecturas de los sensores a la etapa de procesamiento y que se muestra más adelante con mayor detalle debido a que con esta integración se ha conseguido disminuir el costo en comparación con otras opciones.



**Figura 3.** Diagrama de bloques del circuito de adquisición de datos.

El algoritmo que describe el proceso de adquisición de datos se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 4, donde se observa que el tiempo de muestreo de las variables es de cinco minutos. Debido al tiempo de respuesta del sensor DHT22, durante dicho proceso es necesario esperar 2 segundos para realizar la correcta lectura de valores de temperatura y humedad. Una vez concluido el tiempo de muestreo, se calcula el promedio de las lecturas de las variables y se genera la estructura de datos en la que se almacena dicha información.

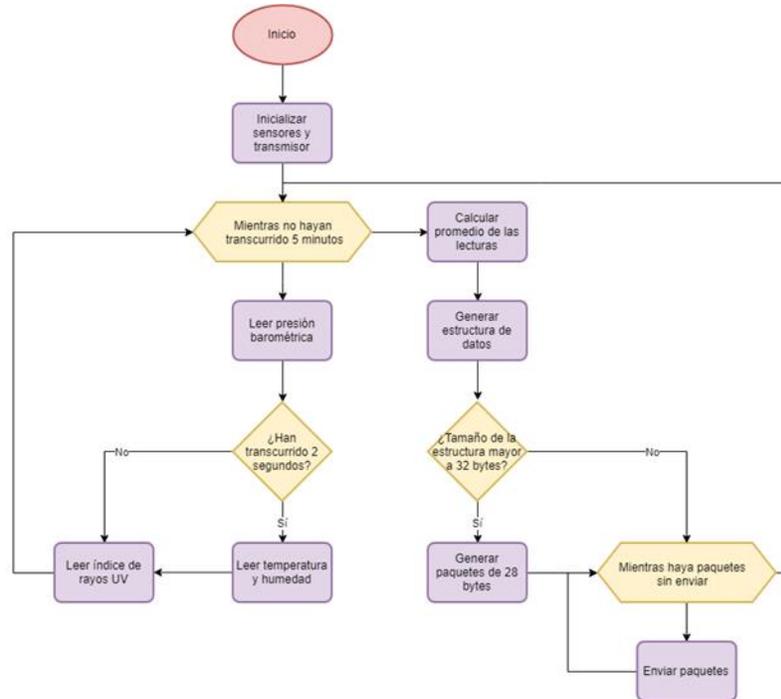


Figura 4. Diagrama de flujo que describe el proceso de adquisición de datos.

#### Implementación inalámbrica

El transceptor NRF24L01+ es un circuito transmisor-receptor desarrollado por Nordic Semiconductor. A diferencia de los dispositivos comercializados para arquitecturas tipo Arduino este transceptor no cuenta con una biblioteca para una incorporación fácil, por ello se muestra con mayor detalle las características, así como, el proceso de integración. El transceptor NRF24L01+ permite la comunicación entre uno o más dispositivos utilizando señales de radiofrecuencia dentro de la banda de 2.4 GHz y puede transmitir a distancias máximas de 1000 m en línea de vista (Semiconductor, 2008). Las velocidades de transferencia de datos son: 256 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps. El bajo costo del circuito y la distancia de comunicación son características importantes del transmisor, por lo que al incorporarlo en el diseño permite que la estación se pueda desplazar a distancias considerables del módulo de procesamiento para el muestreo de las variables. El NRF24L01+ se puede encontrar en módulos que integran el transceptor, el circuito amplificador de potencia de bajo ruido con un conector de antena externa. Adicionalmente, se puede integrar un módulo extra que permite acoplar el voltaje de funcionamiento de 3.3V a 5V (Figura 5).

Para enviar los datos por el transmisor se verifica el tamaño total de la estructura de datos, si el tamaño de dicha estructura es mayor a 32 bytes se debe dividir en paquetes de 28 bytes en donde a cada paquete se le adicionan 4 bytes de control: un byte que almacena el número de paquete enviado, un segundo byte que incluye un identificador para conocer la estructura de datos a la cual pertenece, un tercer byte con el número total de paquetes que constituyen la estructura original y finalmente el tamaño total de bytes de la estructura.



Figura 5. Módulo NRF24L01+ con antena externa y módulo adaptador de voltaje.

En la Figura 6 se observa la estructura de composición del paquete y la construcción.

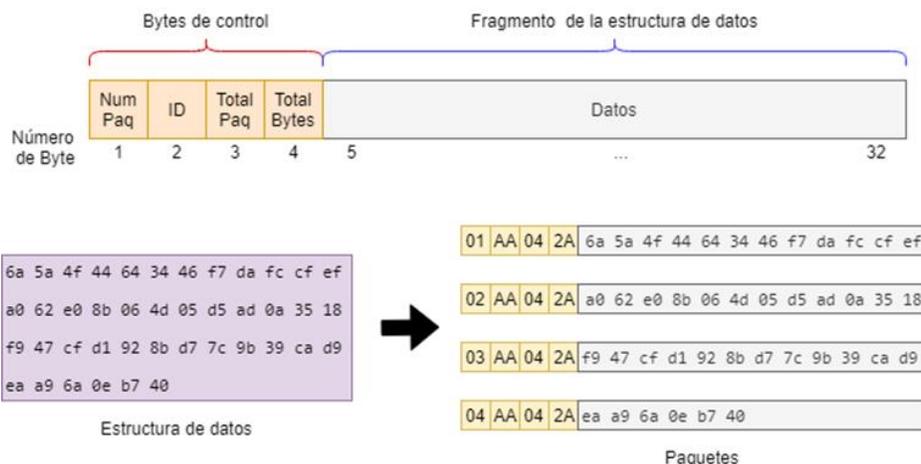


Figura 6. Estructura del paquete de datos

### Procesador maestro

El dispositivo que se encarga del procesamiento principal es una microcomputadora Raspberry Pi que es una computadora de bajo costo, arquitectura System on Chip (SoC) y cuyo tamaño aproximado es similar al de una tarjeta de crédito. A diferencia de Arduino, Raspberry Pi cuenta con sistema operativo inmerso basado en una distribución de Linux (Upton & Halfacree, 2014). El modelo seleccionado es la versión 3 B+ (Figura 7) cuyas características principales son el uso del chip Broadcom BCM2837 como núcleo principal, el cual incluye dentro del mismo circuito el microprocesador ARM Cortex A53 quad core de 64 bits a 1.4 GHz de velocidad, 1 GB de memoria RAM LPDDR2 y el chip gráfico Videocore IV. Adicionalmente, para la interacción con dispositivos externos el sistema cuenta con 40 entradas y salidas de propósito general agrupadas en el conector GPIO de 40 pines, 4 puertos USB, un puerto de conexión Ethernet y tarjeta de red inalámbrica.



Figura 7. Raspberry Pi 3 B+.

La Figura 8 muestra el diagrama de bloques en el que se observa la interacción entre los elementos que conforman la etapa de procesamiento. Podemos notar que el receptor NRF24L01+ se conecta físicamente a la Raspberry Pi utilizando la interfaz SPI contenida en el puerto GPIO cuya función es recibir los paquetes provenientes de la estación. Los datos obtenidos se envían a la plataforma IBM Watson IoT utilizando el protocolo MQTT, el cual es un protocolo de telemetría simple y extremadamente ligero ideal para el uso en aplicaciones de IoT o M2M (Machine to Machine) (MQTT org).

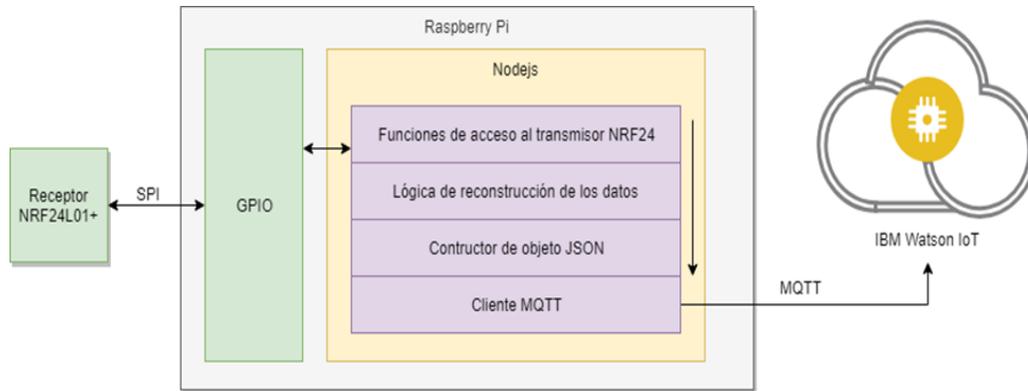


Figura 8. Diagrama de bloques de la etapa de procesamiento de información.

Raspberry Pi ejecuta Node.js, el cual es un entorno de ejecución de JavaScript cuyas características están orientadas a la ejecución de eventos asíncronos y el diseño de aplicaciones de red escalables (Node.js Foundation, 2019). El programa que ejecuta Node.js incluye las funciones de lectura de datos y acceso al receptor con las cuales se recuperan los paquetes de datos enviados por la etapa de adquisición de datos, posteriormente, el bloque lógico de reconstrucción de los datos se encarga de concatenar la estructura de datos a partir de los paquetes recibidos. Una vez reconstruida la estructura de datos, se genera un objeto JSON como el que se observa en la Figura 9, el cual almacena los valores de las lecturas pares clave-valor en un instante dado.

JSON

Figura 9. Esquema de datos

```

1 {
2   "pollutant": {
3     "UVIndex": 2
4   },
5   "weather": {
6     "temperature": 25.5,
7     "humidity": 18,
8     "Pressure": 1010
9   }
10 }

```

Finalmente, la etapa de procesamiento se comprueba mediante el uso de la herramienta IBM Watson (Figura 10) que es una plataforma de software como servicio (SaaS por sus siglas en inglés) en la cual se pueden conectar y controlar sensores, dispositivos e industrias en IoT (IBM Corporation, 2019). La plataforma es privada y cuenta con herramientas que permiten análisis históricos en tiempo real.



Figura 10. Plataforma IBM Watson IoT.

### Salidas

La visualización de la información se realiza utilizando los flujos de programación de la plataforma Node-RED (Figura 11), la cual es una herramienta libre y gratuita de programación orientada a flujos que permite conectar dispositivos de hardware y servicios en línea (JS Foundation). Node-RED puede conectarse a la plataforma IBM Watson por medio de un flujo de entrada, el cual permite suscribirse al bróker MQTT y recuperar los datos

provenientes de la Raspberry. Node-RED incluye un dashboard, el cuál es una interfaz gráfica que permite mostrar en tiempo real gráficos de los datos recibidos.

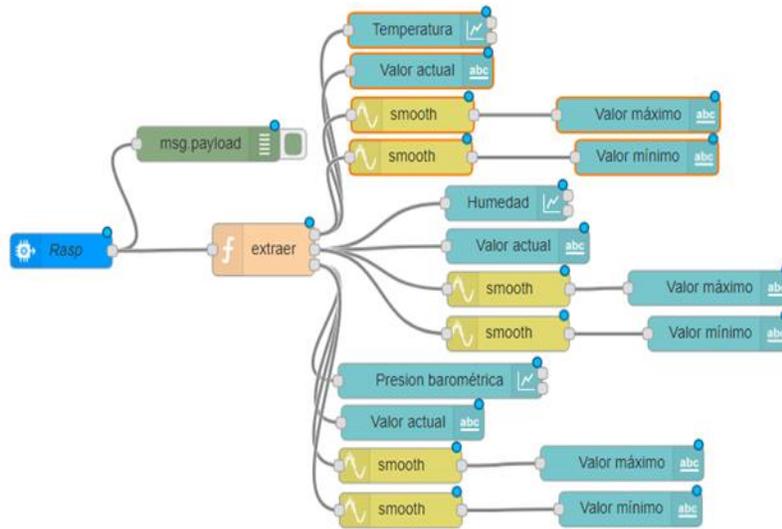


Figura 11. Flujos del programa en la plataforma Node-RED.

En la Figura 12 se muestra una captura del dashboard y las gráficas de los datos recabados con base en el diseño propuesto para la visualización de los datos. El tratamiento de datos incluye el despliegue de los valores máximos y valores mínimos dentro del intervalo de una hora en conjunto con la lectura actual.

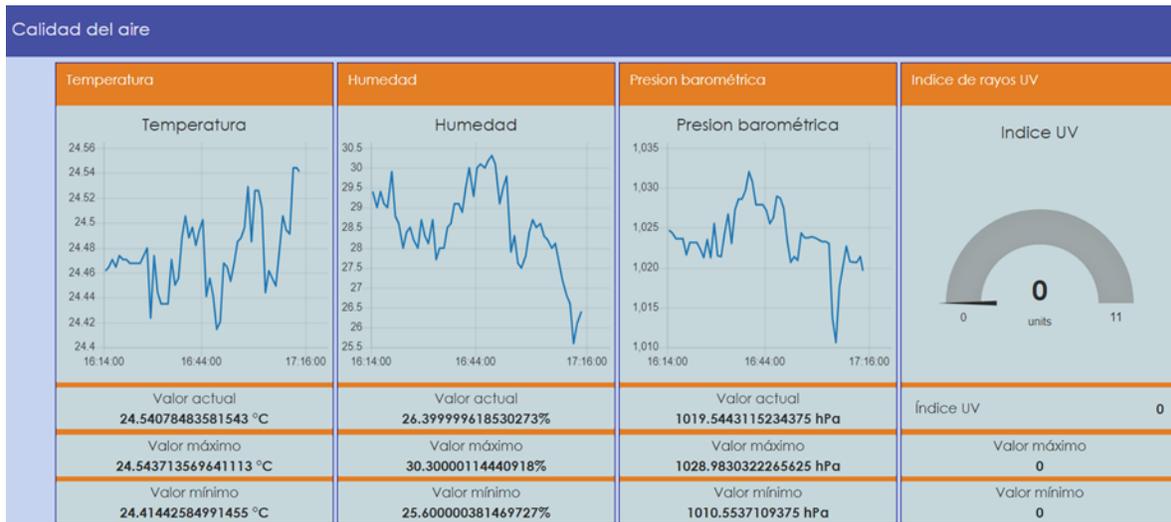


Figura 12. Dashboard del sistema.

### 3. RESULTADOS

La Figura 13 muestra el prototipo de la estación móvil en funcionamiento con un plano de la ubicación de la microcomputadora Raspberry Pi y del prototipo dentro del entorno de pruebas. Las pruebas de funcionamiento se realizaron en un espacio cerrado de 48m<sup>2</sup> y en un intervalo de cuatro días.

En la Figura 14 se observan capturas de funcionamiento del proceso de adquisición de datos y de envío de la información entre procesadores maestro y esclavo. En la parte izquierda de la imagen se observa el valor de la lectura de los sensores utilizando la herramienta monitor serie que incluye el entorno de programación de Arduino, a la derecha, se observa la ejecución del programa principal dentro de Raspberry Pi, en la cual se

muestran los paquetes de datos recibidos y el contenido que se obtiene al reconstruir los paquetes de información.

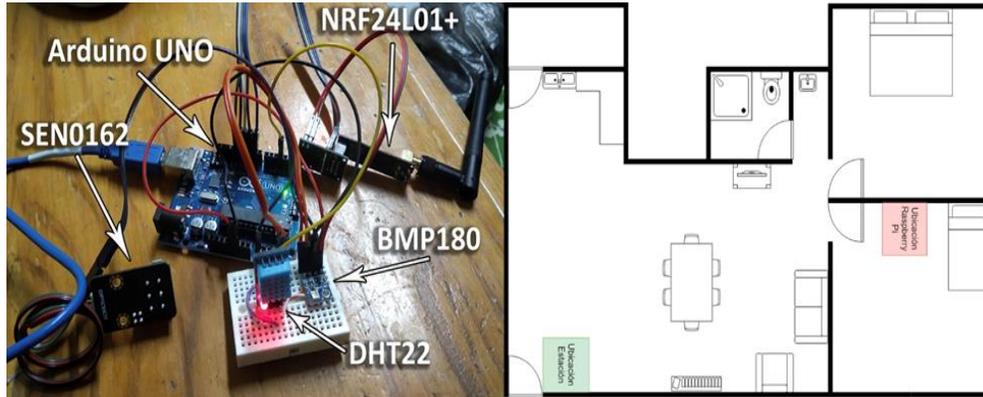


Figura 13. Prototipo de la estación móvil y ubicación dentro del área de pruebas.

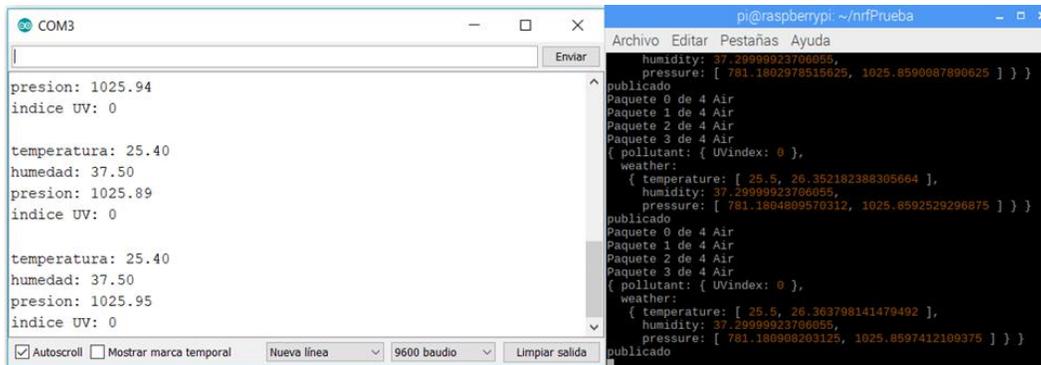


Figura 14. Proceso de adquisición de datos en Arduino y Raspberry Pi.

Como se mencionó, la estación móvil realiza mediciones en intervalos de cinco minutos, por lo cual, durante una hora realiza doce mediciones, las cuales se traducen en la obtención de 288 registros por día. El conjunto de datos obtenido durante los cuatro días de funcionamiento fue de 1728 registros los cuales se almacenaron en un archivo de texto dentro de la Raspberry Pi. Cada registro tiene un tamaño de 148 bytes con lo que se obtuvo un archivo con un tamaño de 250 kb (255744 bytes).

La Figura 15 muestra las gráficas de comportamiento en un día para las variables de temperatura, humedad y presión barométrica. Las gráficas obtenidas son consistentes respecto a datos provenientes de sistemas meteorológicos. Dichas gráficas no mostraron perturbaciones o un comportamiento anormal durante los cuatro días de funcionamiento.



**Figura 15.** Gráficas de temperatura, humedad y presión

Así mismo, el sensor UV no mostró ningún cambio debido a que en el lugar de prueba no incide ningún rayo UV.

El consumo energético del prototipo es de aproximadamente 38  $\mu$ A en estado de adquisición de datos, lo cual es un gasto reducido y que fácilmente Arduino puede satisfacer por medio de la alimentación del puerto USB o de una pequeña batería. La medición del gasto de corriente se hizo con ayuda de un multímetro (Figura 16).



**Figura 16.** Medición de consumo energético del prototipo.

#### 4. DISCUSIÓN

Las gráficas presentadas en los resultados muestran un comportamiento estable y similar al de otras gráficas obtenidas en sitios de estaciones meteorológicas cuya consideración de comparación fue la proximidad de la estación meteorológica y la zona en donde se realizaron las pruebas. En esta etapa del proyecto por la limitación geográfica no es posible realizar una comparación y superposición de gráficas debido a que la distancia entre los puntos de comparación es considerable, pero al tener un comportamiento y resultado similares a los presentados permiten validar los resultados en una primera instancia de forma aceptable. Los valores obtenidos no pasaron por ninguna etapa de filtrado por lo cual en algunos casos se observan pequeñas fluctuaciones que pueden derivar en una incorrecta interpretación de los resultados.

Se observó que el sistema fue robusto durante los cuatro días de funcionamiento debido a que no se observaron perturbaciones o variaciones significativas en los datos obtenidos. Es importante mencionar que no hubo pérdida de datos debido a que todos los paquetes enviados entre la etapa de adquisición de datos y la etapa de procesamiento fueron recibidos en su totalidad.

Una reducción de costos se debió a la implementación de un dispositivo transceptor NRF24L01+ que comparado con las características de la familia XBee resultó aceptable para la aplicación sobre IoT.

Dos plataformas fueron utilizadas para el desarrollo: una pública y una privada sin exceder una importante demanda de recursos computacionales.

#### 5. CONCLUSIONES

La estación móvil propuesta es viable para medir cuatro parámetros de la calidad del aire y su integración al internet de las cosas con un costo accesible al utilizar arquitecturas abiertas, sensores de bajo costo e infraestructura propia. Los resultados presentados permiten concluir también que el desarrollo del proyecto puede ser escalable a mayor número de variables, dispositivos, lugares sin redes celulares o WiFi, otros tipos de análisis de ciencia de datos y una compatibilidad con otros sistemas debido al formato de representación de los datos.

El uso de tecnologías abiertas como Arduino y Raspberry Pi, así como sensores de bajo costo permitió acortar el tiempo de desarrollo del prototipo debido a la cantidad de recursos disponibles que existen para trabajar con este tipo de tecnologías. La metodología propuesta ha sido aplicada y validada en el desarrollo del trabajo.

Con el avance se considera haber logrado un 50% del proyecto de investigación. Como trabajo a corto plazo, en seis meses se considera la integración de sensores de las siguientes variables: CO, CO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Un análisis posterior con mediciones en lugares cercanos a la ubicación de las estaciones meteorológicas o utilizando instrumentos de medición profesionales que permitan validar los resultados arrojados. Adicionalmente, se considera implementar una etapa de filtrado de datos que permitan obtener curvas más suaves, es decir, sin fluctuaciones abruptas. Finalmente, el desarrollo de este tipo de sistemas abre la posibilidad de crear una red de estaciones de medición del índice la calidad del aire de bajo costo y acceso abierto que puedan funcionar en lugares donde las actuales estaciones no cuentan con cobertura.

La información del proyecto puede ser consultada en la página <http://cbi.ler.uam.mx:1880/ui> o solicitar los archivos en bruto a las direcciones electrónicas de los autores.

## 6. REFERENCIAS

- Alowaidi, M., Karime, A., Aljaafrah, M., & Saddik, A. E. (2018). Empirical study of noise and air quality correlation based on IoT sensory platform approach. 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) (pp. 1-6). Houston, TX: IEEE. doi:10.1109/I2MTC.2018.8409629
- Alshamsi, A., Anwar, Y., Almulla, M., Aldohoori, M., Hamad, N., & Awad, M. (2017). Monitoring pollution: Applying IoT to create a smart environment. 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA) (pp. 1-4). Ras Al Khaimah: IEEE. doi:10.1109/ICECTA.2017.8251998
- Araujo Pulido, G. T. (2010, Diciembre 8). Contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud. Retrieved Marzo 2019, 26, from Instituto Nacional de Salud Pública, México: <https://www.insp.mx/cuidando-tu-salud/1483-contaminacion-ambiental-y-sus-efectos-sobre-la-salud.html>
- Arduino, S. (2015). Arduino. Arduino LLC.
- DFRobot. (2016, Enero 21). UV sensor SKU: SEN0162. Retrieved from DFRobot Electronic Product Wiki: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/UV\\_sensor\\_SKU:\\_SEN0162](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/UV_sensor_SKU:_SEN0162)
- Enigella, S. R., & Shahnasser, H. (2018). Real Time Air Quality Monitoring. 018 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST) (pp. 182-185). Chiang Mai: 2018. doi:10.1109/KST.2018.8426102
- Gehlot, A., Singh, R., Samkaria, R., Choudhary, S., De, A., & Kamlesh. (2018). Air quality and water quality monitoring using XBee and internet of things. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.6), 24-27. doi:10.14419/ijet.v7i2.6.10061
- Gugliermetti, L., & Astiaso Garcia, D. (2018). A cheap and third-age-friendly home device for monitoring indoor air quality. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(1), 185–198. doi:10.1007/s13762-017-1382-3
- IBM Corporation. (2019). IBM Watson IoT Platform. Retrieved Abril 2019, 26, from IBM Knowledge Center: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSQP8H/iot/kc\\_welcome.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSQP8H/iot/kc_welcome.htm)
- JS Foundation. (n.d.). About. Retrieved Marzo 26, 2019, from Node-RED.
- Kadri, A., Yaacoub, E., Mushtaha, M., & Abu-Dayya, A. (2013). Wireless sensor network for real-time air pollution monitoring. 2013 1st International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA) (pp. 1-5). Sharjah: IEEE. doi:10.1109/ICCSPA.2013.6487323
- Kumar, S., & Jasuja, A. (2017). Air quality monitoring system based on IoT using Raspberry Pi. 2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA) (pp. 1341-1346). Greater Noida: IEEE. doi:10.1109/CCTA.2017.8230005
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440. doi:10.1016/j.bushor.2015.03.008
- Liu, T. (2013). Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). Sparkfun.

- MQTT org. (n.d.). Frequently Asked Questions. Retrieved Abril 2019, 26, from MQTT.org: <http://mqtt.org/faq>
- Node.js Foundation. (2019). Acerca de Node.js. Retrieved Marzo 26, 2019, from Node.js: <https://nodejs.org/es/about/>
- OMS. (2018, Mayo 2). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado. Retrieved Abril 26, 2019, from Organización Mundial de la Salud: Global site: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Raghudathesh, G. P., Deepak, D. J., Keerthi Prasad, G., Arun, A. B., Balekai, R., Yatnalli, V. C., . . . Kumar, B. S. (2017). Iot based intelligent poultry management system using Linux embedded system. 2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI) (pp. 449-454). Udupi: IEEE. doi:10.1109/ICACCI.2017.8125881
- SEDEMA. (n.d.). El monitoreo de la calidad del aire. Retrieved Marzo 26, 2019, from Calidad del Aire CDMX: <http://www.aire.cdmx.gob.mx>
- Semiconductor, N. (2008). nRF24L01+ Preliminary Product Specification. Report Revision, 1, 1-75.
- Sensortec, B. (2013). Data sheet BMP180 Digital pressure sensor. Np: Bosch Sensortec, 1-29.
- Sherin, A., & Li, X. (2014). A Cost-effective Wireless Sensor Network System for Indoor Air Quality Monitoring Applications. *Procedia Computer Science*, 34, 165-171. doi:10.1016/j.procs.2014.07.090
- Telefónica F. (2011). Smart Cities: un primer paso hacia la Internet de las Cosas (Vol. 16). Fundación Telefónica.
- Upton, E., & Halfacree, G. (2014). Raspberry Pi user guide. John Wiley & Sons.
- Urbina Soria, J. (1988). Las condiciones ambientales urbanas como generadoras de estrés. *Omina*, 4(11).

**Este artículo puede citarse de la siguiente forma:**

**Citación estilo APA sexta edición**

Vázquez López, R., Herrera Lozada, J.C. & Sandoval Gutiérrez, J. (enero-abril de 2020). Propuesta de una estación móvil para la medición de la calidad del aire con el Internet de las Cosas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 6(1), 1-12.

**Citación estilo Chicago decimoquinta edición**

Vázquez-López, Rodrigo, Herrera Lozada, Juan Carlos & Sandoval Gutiérrez, Jacobo. Propuesta de una estación móvil para la medición de la calidad del aire con el Internet de las Cosas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 6 No. 1 (enero-abril de 2020): 1-12.

**Citación estilo Harvard Anglia**

Vázquez López, R., Herrera Lozada, J.C. & Sandoval Gutiérrez, J. 2020. Propuesta de una estación móvil para la medición de la calidad del aire con el Internet de las Cosas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, 6(1), pp. 1-12.

**Citación estilo IEEE**

[1] R. Vázquez-López, J.C. Herrera Lozada y J. Sandoval Gutiérrez. Propuesta de una estación móvil para la medición de la calidad del aire con el Internet de las Cosas. *Revista Multidisciplinaria de Avances de Investigación*, vol. 6 No. 1, pp. 1-12, enero-abril de 2020.