

# **SISTEMA DE MONITOREO DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AIRE UTILIZANDO HERRAMIENTAS IOT**

*SUSPENDED PARTICULATE MATTER MONITORING SYSTEM TO  
DETERMINE AIR QUALITY USING IOT TOOLS*

## ***Yolocuahtli Salazar Muñoz***

Tecnológico Nacional de México / IT de Durango, México  
*ysalazar@itdurango.edu.mx*

## ***Alejandro Daniel Hernández Ramírez***

Tecnológico Nacional de México / IT de Durango, México  
*17041685@itdurango.edu.mx*

## ***Luis David Galván Martínez***

Tecnológico Nacional de México / IT de Durango, México  
*17040971@itdurango.edu.mx*

## ***Cesar Iván Parra Balderas***

Tecnológico Nacional de México / IT de Durango, México  
*17040984@itdurango.edu.mx*

## ***Luis Armando de la Peña Arellano***

Tecnológico Nacional de México / IT de Durango, México  
*aparellano@itdurango.edu.mx*

**Recepción:** 25/noviembre/2022

**Aceptación:** 22/diciembre/2022

## **Resumen**

La descarga de contaminantes en el aire genera efectos nocivos a la salud de la población. Objetivo: diseñar e implementar un sistema de monitoreo para determinar la calidad del aire utilizando herramientas IoT. Metodología: a) Selección de componentes y diseño del sistema, b) Pruebas de funcionamiento del sistema, c) Acceso a la nube y funciones de la plataforma, d) Integración del sistema en el dron. Resultados: Se diseñó un sistema de monitoreo de calidad del aire con un error de medida inferior al 6% para temperatura y humedad relativa. A través de IoT las variables monitorizadas son transmitidas al servidor y guardadas en formato de texto con acceso a la plataforma ThingSpeak. Se desarrolló un PCB y una carcasa

bajo el peso límite del dron. Conclusión: el sistema de monitoreo montado en un dron podrá utilizarse en áreas alejadas de las estaciones meteorológicas fijas y obtener datos en tiempo real.

**Palabras Clave:** Calidad del aire, IoT, Sistema de monitoreo, Recopilación de datos.

## **Abstract**

*The discharge of pollutants into the air generates harmful effects on the health of the population. Objective: design and implement a monitoring system to determine air quality using IoT tools. Methodology: a) Component selection and system design, b) System performance tests, c) Cloud access and platform functions, d) System integration in the drone. Results: An air quality monitoring system was designed with a measurement error of less than 6% for temperature and relative humidity. Through IoT the monitored variables are transmitted to the server and stored in text format with access to the ThingSpeak platform. A PCB and housing were developed under the weight limit of the drone. Conclusion: the monitoring system mounted on a drone will be able to be used in areas far from fixed weather stations and obtain real-time data.*

**Keywords:** Air quality, Internet of Things, Monitoring System, Data collection.

## **1. Introducción**

Desde principios de la época moderna y con la llegada de la revolución industrial las actividades industriales, comerciales, agropecuarias, urbanísticas, e incluso las actividades domésticas han generado cambios en el ambiente, afectando a la naturaleza y sociedad en general. La gran concentración de contaminantes en el aire que respiramos trae consigo efectos negativos a la salud humana. Se estima que el 25% de la población en general carga con enfermedades atribuidas a factores ambientales [Riojas-Rodríguez, 2013].

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud en 2012, se registraron 7 millones de muertes atribuidas a la exposición a concentraciones elevadas de contaminantes del aire. Por lo que se ha utilizado el monitoreo atmosférico como una herramienta que permite determinar los niveles contaminación en el aire

[Salcido, 2019]. Se ha podido comprobar que la mala calidad del aire se considera como un factor importante de padecimientos cardiovasculares y respiratorios, por lo que es de importancia el monitoreo y condicionamiento de actividades asociadas a la generación de agentes contaminantes ambientales. Por ello, en la evaluación de la calidad del aire se han establecido una serie de límites permisibles para los contaminantes [Landeros-Múgica, 2014].

La implementación de estaciones y plataformas digitales ha sido una pieza fundamental para el monitoreo de la contaminación atmosférica a lo largo del mundo, en donde no es necesario permanecer estático para el monitoreo de los agentes contaminantes. Dentro de los últimos años se ha incrementado el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la toma de muestras y monitoreo de los contaminantes esparcidos por la atmósfera [Eslava-Pedraza, 2020].

Por lo que, gracias a los UAV es posible monitorear casi cualquier entorno, desde grandes ciudades hasta zonas de peligro donde se pudiera dificultar el acceso al ser humano [Mazeh, 2018]. Además, han sido relacionados con el monitoreo de características ambientales, así como el monitoreo de la calidad del aire [Pribadi, 2017], para ello se deben de cumplir una serie de limitaciones: bajo peso de carga útil, distribución equitativa de pesos, aerodinámica del sistema y disponibilidad en el mercado de dispositivos entre otros.

El uso de los UAV al realizar mediciones en tiempo real conlleva diversos métodos para el envío y recepción de datos, presentándose opciones como subir los datos directamente a la nube, o realizar una red punto a punto utilizando antenas [Vijayakumar, 2020]. Al utilizar herramientas IoT es posible visualizar e interactuar con sistemas sin tenerlos en la cercanía, sin contar con la ventaja de que estos pueden ser visualizados desde dispositivos móviles, lo cual facilita la interacción con el usuario [Zulkifli, 2020].

También se ha implementado un sistema, basado en Arduino sobre un dron, el cual gestiona tanto el control de vuelo del dispositivo, como el de monitoreo de los gases producidos en el área de estudio. Los datos son almacenados en una memoria SD, pero simultáneamente se suben a una plataforma en la nube (mediante el uso de un módulo 2G), la cual realiza la gestión de la información [Solórzano-Plaza, 2017].

Sin embargo, para generar el reporte de datos muestreados se utilizan módulos de memoria SD para el almacenamiento de datos y contar con módulos GPS [Jumaah, 2021].

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es diseñar e implementar un sistema de monitoreo de partículas suspendidas para determinar la calidad del aire utilizando herramientas IoT. El diseño está restringido por la carga útil que soporta el vehículo aéreo. Para este diseño se han considerado las variables de estudio tales como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), partículas suspendidas (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) y óxido nitroso (NO<sub>2</sub>). Además, de acuerdo con los trabajos de [Angrisani, 2019] se determinó el monitoreo de variables meteorológicas como lo son la temperatura, humedad relativa y presión barométrica debido a la relación que se presentan en estas variables.

## 2. Metodología

### Selección de componentes y diseño del sistema

Se seleccionaron los sensores para monitoreo de las variables de calidad del aire y características ambientales con base en sus características estáticas de funcionamiento además de sus dimensiones. La tabla 1 describe no solo estas características sino también el tipo de sensor y las variables que mide cada uno de ellos.

Tabla 1 Características técnicas de los sensores seleccionados para el sistema.

No.	Variables / Sensor	Tipo	Rango		Exactitud	Condiciones de operación		Dimensiones
			°C					
1	Temperatura Humedad Relativa Presión barométrica /BME280	Piezo-resistivo	°C	-40 ~ 85	±1	°C	-40 ~ 85	13x11 mm
			HR	0 ~ 100%	±3%		0 ~ 100%	
2	CO NO <sub>2</sub> /MICS-6814	Electroquímico	1 ~ 1000 ppm			°C	-30 ~ 85	14x16 mm
						HR	5 ~ 95%	
3	CO <sub>2</sub> /MQ135	Electroquímico	10 ~ 1000 ppm			°C	20 ~ 70	33x20x16 mm
						HR	<95%	
4	PM <sub>2.5</sub> PM <sub>10</sub> /SDS011	Óptico-laser	0.0-999.9 µg/m <sup>3</sup>		±10%	°C	-20 ~ 50	71x70x23 mm
						Hr	0 ~ 70%	
5	O <sub>3</sub> /MQ131	Electroquímico	10 ~ 2ppm		≤3%	°C	-10 ~ 50	35x23x26 mm
						Hr	0 ~ 65%	

La unidad de control a utilizar será la placa de desarrollo Arduino Mega 2560 Pro, por el número de canales de comunicación suficientes para los distintos sensores. La unidad de control realizará la lectura de datos de manera secuencial, una vez adquiridos los datos se transmitirán a la unidad de comunicación del sistema, en este caso el módulo SIM800L. Los protocolos de comunicación utilizados entre la unidad de control y los sensores son el I2C, analógico y serial, en la tabla 2 se especifica el sensor y su protocolo.

Tabla 2 Formato de comunicación de los sensores seleccionados.

No.	Sensor	Formato de comunicación
1	BME 280	I2C
2	MICS-6814	Analógico
3	MQ135	Analógico
4	Nova PM SDS011	Serial (9600bps)
5	MQ131	Analógico
6	SIM800L	Serial (9600bps)

El módulo SIM800L realiza la comunicación del sistema con la plataforma ThingSpeak para su monitorización en la nube. Para ello, se implementa un programa para la gestión de datos del Arduino. El reporte histórico de datos se obtendrá a través de la plataforma ThingSpeak, debido a que el dispositivo está conectado a la red 2G transmitiendo datos en tiempo real, por lo que el servidor permite almacenar, visualizar y extraer los datos. El tiempo estimado de vuelo del dron es de 30 min, de acuerdo con la especificación del fabricante. Por lo tanto, se definió en función del consumo (W) de los componentes, tablas 3 y 4, un sistema de alimentación basado en la batería LIPO 12000mAh. Por lo que, la batería garantiza el vuelo del dron de 30 minutos, transmitiendo las mediciones a la plataforma. Debido a que el cálculo de autonomía del sistema determina que la autonomía tiene un rango de 1 hora con 39 minutos hasta 1 hora con 59 minutos máximo de acuerdo con la ecuación 1. Además, de acuerdo con la programación de uso de los componentes SIM800L y SDS011 se puede incrementar la autonomía del sistema. Ya que éstos cuentan con un modo de reposo que genera un bajo consumo y entrega más tiempo útil a la carga de la batería.

$$Autonomia = P_{bateria} / \sum C_{BME} + C_{MICS} + C_{MQ135} + C_{SDS} + C_{MQ131} + C_{S800L} + C_{AM25P} + C_{MCB} \quad (1)$$

Tabla 3 Consumo de los componentes del sistema.

No.	Componente	Corriente/voltaje	Consumo
1	BME 280	0.3 $\mu$ A/3.3 V	0.990 $\mu$ W
2	MICS-6814	32 mA/5 V	0.16 W
3	MQ135	54 mA/5 V	0.27 W
4	NOVA PM SDS011	220 mA/5 V	1.1 W
5	MQ131	180 mA/5 V	0.9 W
6	SIM800L	600 mA – 2 A/5 V	3 – 5 W
7	Arduino Mega 2560 Pro	35 mA/5 V	0.175 W
8	Módulo cargador de batería	1 A/3.7 V	3.7 W

Tabla 4 Elementos de la etapa de alimentación.

Dispositivo	Tensión/corriente (salida)	Dimensiones
Batería LIPO 12000 mAh	3.7 V / 5 A	68x43x6 mm
Módulo cargador de batería	5 V / 2.1 A	65x14 mm

Donde,  $P_{bateria}$  es la Potencia entregada por batería.  $C_{BME}$  es el consumo del sensor BME280.  $C_{MICS}$  es el consumo del sensor MICS-6814.  $C_{MQ135}$  es el consumo del sensor MQ135.  $C_{SDS}$  es el consumo del sensor NOVA PM SDS011.  $C_{MQ131}$  es el consumo del sensor MQ131.  $C_{S800L}$  es el consumo del módulo SIM800L.  $C_{AM25P}$  es el consumo del Arduino MEGA 2560 Pro.  $C_{MCB}$  es el consumo del módulo de recarga para batería LIPO. Como se aprecia en la figura 1, la integración del sistema consta de sensores de comunicación analógica, sensores de comunicación serial, sensor de comunicación I2C, la unidad de control del sistema, la conexión al servidor IoT y el módulo de alimentación y regulación de voltaje.

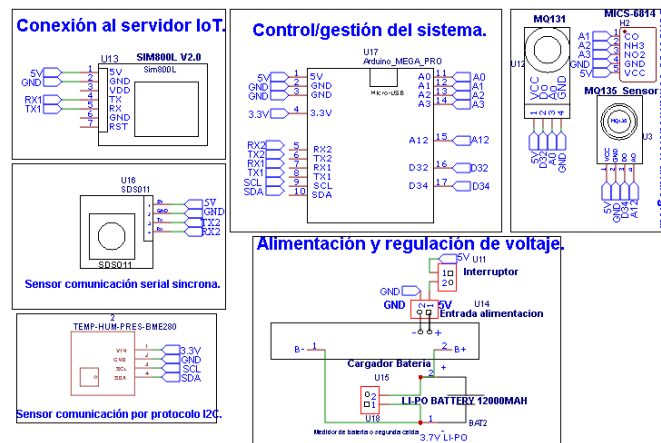


Figura 1 Esquemático de conexiones eléctricas del sistema.

## Pruebas de funcionamiento del sistema y análisis de datos

El análisis del funcionamiento de los componentes con el prototipo a nivel laboratorio se realiza para verificar que:

- El diseño del sistema de monitoreo funciona.
- Se pueden configurar los datos del servidor, que puede recibir los datos de los sensores.
- Se puede llevar a cabo el análisis de los datos y verificar el comportamiento obtenido.
- Se visualiza el comportamiento del servidor de datos en la nube para comprobar el correcto funcionamiento, así como del sistema de medición.

Una vez integrado el prototipo sistema se realizaron las mediciones de prueba de las variables para monitorear la calidad del aire, estas variables son: PM2.5, PM10, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>. El material particulado PM2.5 y PM10 se registró en 3 horarios distintos a las 6, 12 y 20 h, figuras 2 y 3. Bajo condiciones de actividad humana cotidiana, es decir fuera de entornos industriales y zonas de alto tránsito. Los valores se registraron durante 75 minutos en cada horario respectivamente. La tabla 5 muestra los valores registrados del material particulado tanto PM2.5 como PM10, donde se observa que la desviación estándar en el PM2.5 permanece constante a pesar del horario de monitorización. Mientras que en el registro del PM10 se observa la incidencia de la actividad humana en los distintos horarios encontrándose la mayor concentración del PM10 en el horario vespertino ( $27 \pm 18$ ).

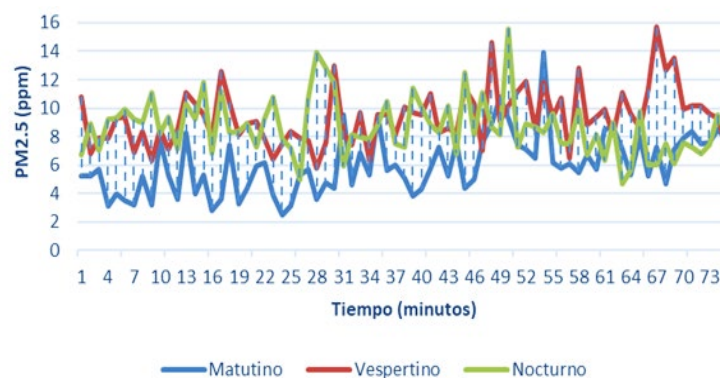


Figura 2 Material particulado PM2.5 registro durante 75 minutos.

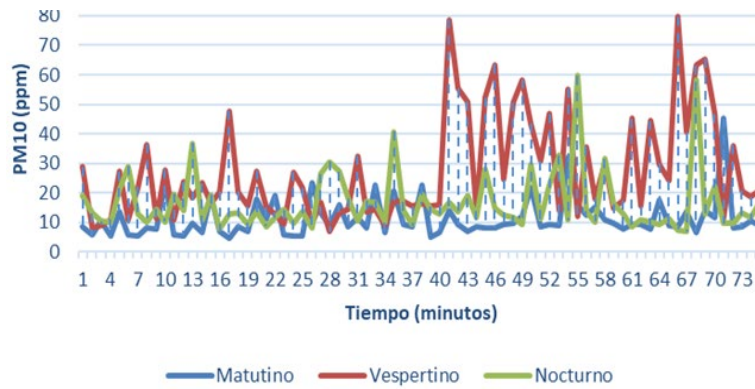


Figura 3 Material particulado PM10 registro durante 75 minutos.

Tabla 5 Valores registrados del material particulado (Valor promedio  $\pm$  STD).

Turno	PM2.5	PM10
Matutino	6 $\pm$ 2	11 $\pm$ 7
Vespertino	9 $\pm$ 2	2 $\pm$ 18
Nocturno	9 $\pm$ 2	17 $\pm$ 10

La variable Temperatura y Humedad Relativa fueron calibradas utilizando como equipo un medidor de temperatura y humedad Fluke 971. Los datos adquiridos para la calibración se adquirieron cada 20 minutos durante un lapso de 8 horas, para tener un rango de 13 a 36°C de temperatura ambiente y del 12% al 52% de HR. Con esta calibración se obtuvo un error del 5% para temperatura y un 6% para humedad relativa, figura 4.

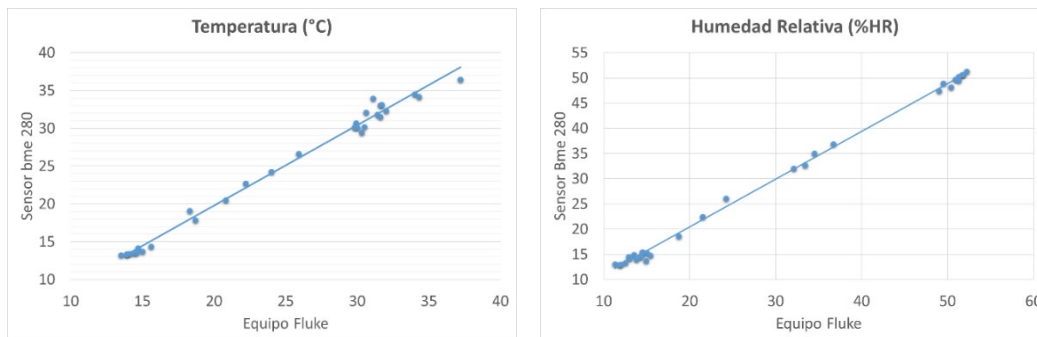


Figura 4 Datos calibrados para temperatura y humedad relativa con el equipo fluke 971.

Para las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa los datos adquiridos se muestran en la figura 5, en la cual se aprecia el funcionamiento de la plataforma ThingSpeak.



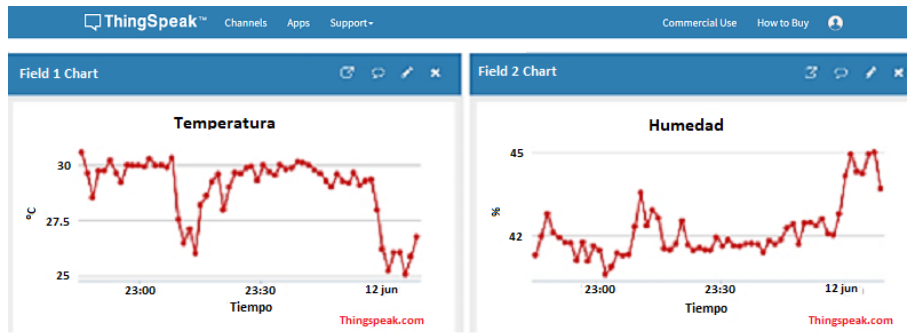


Figura 5 Temperatura y humedad relativa visualizada en la nube Thingspeak.

### Acceso a la nube y funciones de la plataforma

El uso de la tecnología IoT de almacenamiento en la nube significa contar con una herramienta que permita desde el análisis de los datos recopilado hasta gestionar el uso del equipo. En este caso se utiliza un dispositivo conectado a internet, en lugar de incluir en el sistema de medición elementos que requieren de unidades de almacenaje de datos y conexión para acceso a los datos adquiridos, figura 6.

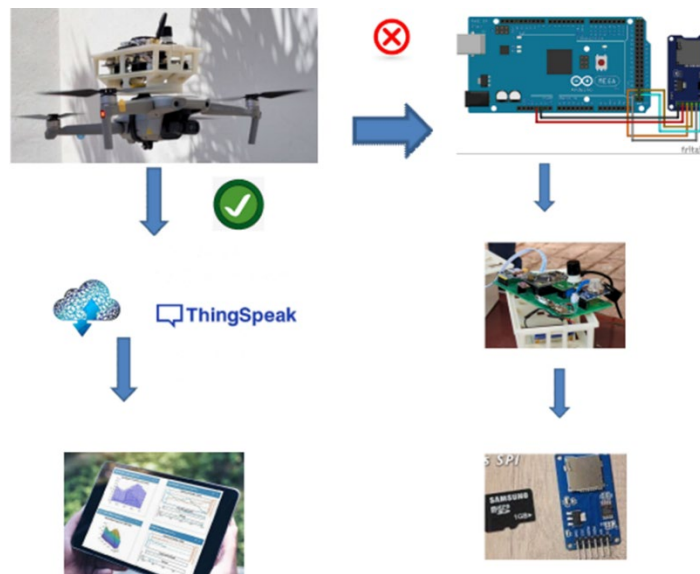


Figura 6 Analogía de ventajas con las que se cuenta al hacer uso de la tecnología IoT frente al almacenamiento local.

Una de las herramientas proporcionada por la plataforma es generar el reporte histórico de datos, en la figura 7 se visualiza las opciones que se tienen para obtener

el reporte ya sea individual de cada variable o el conjunto de todas, dependiendo de la variable a analizar.



Figura 7 Función de generar reporte de datos obtenidos por el sistema.

Además, las ventajas del uso de esta herramienta que se aprovechan en el sistema en específico son las siguientes:

- Se reduce el peso ya que no requiere componentes de almacenamiento local.
- No requiere de repetidores para mayor distancia de conexión, ya que accede a internet mediante la conexión a la red de telefonía móvil.
- La distancia de conexión a internet es muy amplia ya que en las ciudades la cobertura telefónica es total.
- El acceso al servidor para monitoreo puede ser solo para personal autorizado, o puede darse acceso a usuarios en específico e inclusive al público en general.
- La plataforma Thingspeak no solamente permite visualizar y almacenar, sino también procesar dichos valores para generar resultados, esto mediante un núcleo de procesamiento basado en Matlab, en su entorno de programación modo consola o de objetos.
- El reporte de datos para su análisis contiene la hora y fecha en la que se obtienen dichos datos, generando un historial de comportamiento y a nivel de hardware mayor del sistema.

## Integración del sistema en PCB

Finalmente, se procede con la implementación del diagrama eléctrico para concluir con el diseño de la PCB siguiendo las reglas de diseño de estas herramientas de implementación de circuitería de sistemas electrónico. Y se considera la ubicación de los componentes para la mejor distribución de pesos y conexiones del sistema. En la figura 8, se muestra la distribución y conexiones del sistema, se utiliza ensamble con terminales que se desmonten o cambien si es necesario lo que dará versatilidad al sistema.

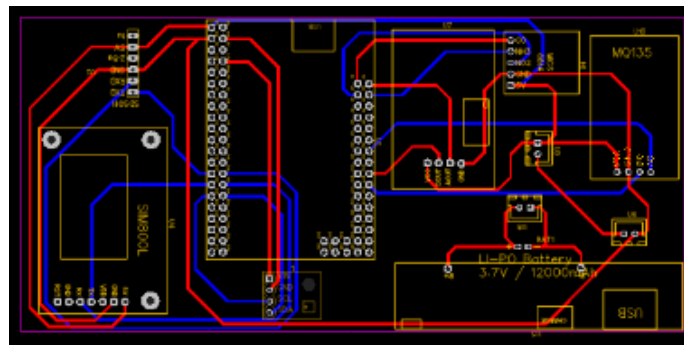


Figura 8 Esquema de distribución del sistema en el PCB y conexiones entre componentes.

## Diseño de carcasa

Para la realización del diseño de la carcasa se determinó cual es la posición del sistema sobre el dron y como se sujetará del UAV. También hay que resaltar los puntos como las dimensiones del PCB y el peso que esta carcasa debe tener junto con el sistema electrónico no mayor a 400 g, además de un diseño aerodinámico, salidas de conexión, comunicación y carga del sistema, ubicación de sensores para que cuenten con acceso al aire ambiental, figura 9.

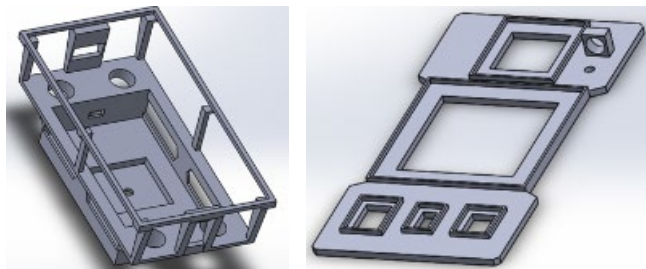


Figura 9 Diseño de la base y tapa de la estructura.

La distribución del peso del sistema está en un punto centrado y genera la menor turbulencia. El material y el grosor de la estructura demostró soportar hasta el peso de una persona según las simulaciones de la carcasa. El aire puede pasar dentro de la estructura, pero sin llegar a romperlo o generar problemas de vuelo. El diseño para inserción de los dispositivos resultó ser el adecuado para su montaje y seguridad, con un bajo costo y poca complejidad para la impresión del diseño. Además, otra ventaja a la hora del montaje fue la altura de la estructura que ayudo a realizar cambios sin comprometer el sistema.

La estructura está dividida en 2 piezas que ensamblan con ayuda de un par de soportes que se encargan de realizar el cierre entre la base y la tapa. Sobre la tapa de la estructura se coloca al sensor SDS011, justo al centro de la estructura, la antena del módulo SIM800L y el sensor MQ131, se ubicaron en un extremo.

En la tabla 6, se muestra la distribución de peso realizada, donde se puede resaltar que el centro de gravedad está colocado correctamente y la distribución equilibrada.

Tabla 6 Distribución del peso del dispositivo.

<b>Totales</b>	
<i>Sección izquierda</i>	<i>Sección derecha</i>
35.5 gramos	35.6 gramos
<i>Sección central</i>	
233 gramos	
<b>Peso total del equipo</b>	<b>304 gramos</b>

### 3. Resultados

#### Diseño e integración del sistema de monitorización

Se logró integrar el sistema de monitorización de variables ambientales, por lo que se obtiene un comportamiento correcto del sistema en el PCB, figura 10.

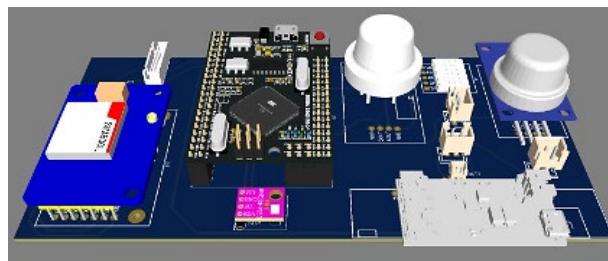


Figura 10 Acabado final del PCB del sistema de monitorización modelado en 3D.

Solo los componentes principales de procesamiento y alimentación están montados en la placa. Para el resto de componentes solo se requieren sus terminales debido a que van colocados de forma superficial en la carcasa del sistema.

El proceso de implementación de la carcasa se realizó mediante el seguimiento de los puntos de diseño. Se utilizó un software de diseño en 3D, para luego llevarlo al plano físico mediante impresión por extrusión de material (impresión 3D), la figura 11 muestra el resultado de dicho proceso.



Figura 11 Montaje del sistema sobre la carcasa impresa en 3D.

### **Adquisición de datos con el sistema de monitorización**

La transmisión de datos en tiempo real se lleva a cabo cada minuto. En la figura 12, se aprecia el comportamiento durante el funcionamiento de la plataforma en conjunto con el sistema, solo se representan los datos adquiridos durante una hora. En todas las variables mostradas, se observa un comportamiento de lecturas continuas, donde los valores del material particulado PM2.5 es  $7.5 \pm 1.8$  ppm (Figura 12a), y del PM10 es de  $12.5 \pm 5.0$  ppm (Figura 12b); la concentración de dióxido de carbono es de  $2968 \pm 1020$  ppm (Figura 12c), y para el ozono es de  $1.5 \pm 1.2$  ppm con una lectura muy constante (Figura 12d). Mientras que para el monóxido de carbono la concentración es de  $6.31 \pm 8.00$  ppm (Figura 12e) y del óxido nitroso  $0.11 \pm 0.7$  ppm (Figura 12f) con la mayoría de las lecturas en 1 y 0.05 respectivamente. Además, la medida de temperatura promedio es de  $28.9 \pm 1.4$  °C (Figura 12g) con una humedad relativa del  $40.2 \pm 1.7\%$ .

La figura 13 muestra el sistema de medición montado sobre el dron en un vuelo de prueba.

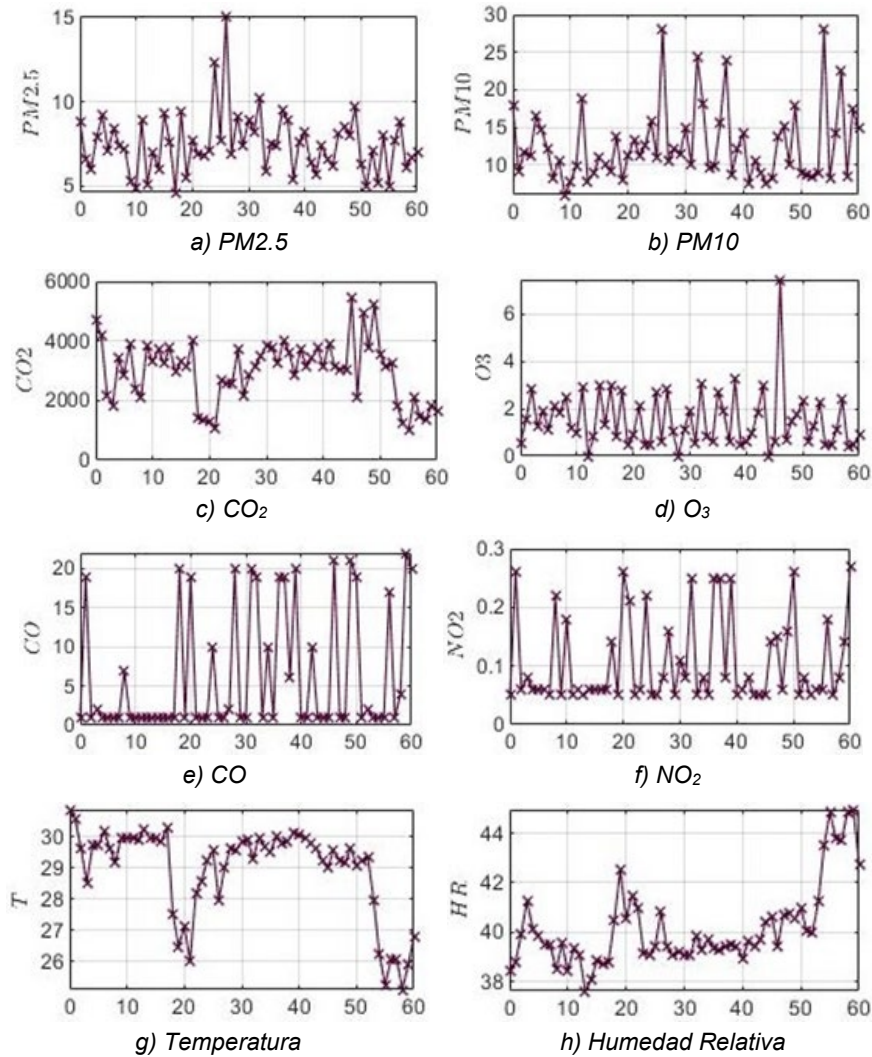


Figura 12 Valores obtenidos por el sistema en la plataforma IoT por un periodo de 60 minutos para las variables.



Figura 13 Sistema de medición montado sobre el dron en pleno vuelo.

## **4. Discusión**

La ventaja de utilizar las tecnologías IoT del almacenamiento en la nube, es tal que simplifica el diseño del dispositivo pues no se requiere de una memoria para almacenar los datos, además permite una visualización en tiempo real y sobre todo con versatilidad para la extracción y futuro tratamiento de los datos por el usuario final.

Se obtuvo un diseño funcional de un sistema de monitoreo de calidad del aire, con base en el estudio de componentes seleccionados de forma adecuada, así como las partes que conforman el equipo. Además de lograr integrarlo en el dron y gracias a la tecnología IoT los datos recopilados son transmitidos al servidor de forma adecuada.

Este sistema permitirá conocer las concentraciones en tiempo real de las variables de interés para determinar la calidad del aire que son nocivos para la salud si llegan a niveles altos o por tiempos prolongados generando distintos problemas en la salud del ser humano. Además, el sistema de monitoreo de calidad ambiental montado en un dron podrá ser utilizado en aquellas áreas alejadas comúnmente de las estaciones meteorológicas fijas, para tener los datos en tiempo real. Sin embargo, se propone hacer más robusto el sistema, y en un futuro incluir más sensores de utilidad para el análisis de otras variables de interés e inclusive otros componentes que den soporte al operador del equipo para tener un mejor manejo de este.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Angrisani, L., Martire, V., Marvaso, M., Peirce, R., Picardi, A., Termo, G., Toni, A. M., Viola, G., Zimmaro, A., Amodio, A., Arpaia, P., Ascioffa, M., Bellizzi, A., Bonavolonta, F., Carbone, R., Caputo, E., & Karamanolis, G. (2019). An innovative air quality monitoring system based on drone and IoT enabling technologies. 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2019 - Proceedings, 207–211. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909245>.
- [2] Eslava-Pedraza, J. E., Martínez-Sarmiento, F. A., Soto-Vergel, Ángelo J., Vera-Rozo, E. J., & Guevara-Ibarra, D. (2020). Diseño de un sistema de

- medición de material particulado mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Aibi Revista De investigación, administración e ingeniería*, 8(S1), 1-15. <https://doi.org/10.15649/2346030X.800>.
- [3] Landeros-Mugica, Karina, Ortega-Andeane, Patricia, Reyes-Lagunes, Isabel & Sosa-Echeverría Rodolfo. (2014). Air pollution in Mexico City: attribution and perception of causes and effects / La contaminación del aire en la Ciudad de México: atribución y percepción de sus causas y efectos, *PsyEcology*, 5:1, 91-117, DOI: 10.1080/21711976.2014.881665.
- [4] Jumaah, H. J., Kalantar, B., Mansor, S., Halin, A. A., Ueda, N., & Jumaah, S. J. (2021). Development of UAV-based PM2.5 monitoring system. *Drones*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/drones5030060>.
- [5] MazeH, H., Saied, M., & Francis, C. (2018). Development of a multicopter-based system for air quality monitoring. 3rd International Conference on Electrical and Biomedical Engineering, Clean Energy and Green Computing, EBCEGEC 2018, 23–28. <https://doi.org/10.1109/EBCEGEC.2018.8357127>.
- [6] Pribadi, A., Kurniawan, F., Hariadi, M., & Nugroho, S. M. S. (2017). Urban distribution CCTV for Smart City using decision tree methods. 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Strengthening the Link Between University Research and Industry to Support ASEAN Energy Sector, ISITIA 2017 - Proceeding, 2017-Janua (Iccas), 21–24. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2017.8124048>.
- [7] Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública De México*, 55(6), 638-649. <https://doi.org/10.21149/spm.v55i6.7310>.
- [8] Vijayakumar, P., Khokhar, A., Pal, A., & Dhawan, M. (2020). Air Quality Index Monitoring and Mapping Using UAV. Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2020, 1176–1179. <https://doi.org/10.1109/ICCSP48568.2020.9182374>.
- [9] Salcido, A., Celada Murillo, A. T., Tamayo Flores, G. A., Hernández Flores, N., Carreón Sierra, N., Martínez Flores, M. A. y Colín Aguilar, A. L., Solano



- Olivares, H. A., Salcido Merino, A. I. y Gaspar, J. A. (2019). Calidad del aire y monitoreo atmosférico. *Revista Digital Universitaria (RDU)*. Vol. 20, núm. 3 mayo-junio. DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a3>.
- [10] Solórzano-Plaza, H. A., Torres-Estacio, C. C., y Hernández-Martínez, J. S. (2017). Diseño de un robot aéreo móvil con un sistema de sensores inalámbricos para el monitoreo de gases tóxicos en el exterior de la refinería estatal de Esmeraldas. *Polo Del Conocimiento*, 2(12), 3-14. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i12.406>.
- [11] Zulkifli, S. A., Shukor, M. H. F. M., Razman, F. N., Wahab, M. H. A., & Idrus, S. Z. S. (2020). Air Drone Pollution Monitoring System with Self Power Generation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/2/022103>.