

Artículo:

Construcción de un módulo meteorológico de bajo costo para adquisición de datos con aplicación educativa y tecnológica

Construction of a low-cost meteorological module for data acquisition with educational and technological application

Tanya Estrella Torres-Valdez^{1*}, Gustavo Arturo Castellanos-Guzman², Pedro Nava-Diguero¹, Francisco Manuel Garcia-Reyes²

Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social

Recibido: 23 de junio de 2025
Aceptado: 11 de agosto de 2025
Publicado: 21 de agosto de 2025

Publicación continua editada por el
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca

Desv. Lindero Tametate, S/N
Col. La Morita
C.P. 92100
Tantoyuca, Veracruz, México.
Teléfono: 789 8931680, Ext.196.

Correo electrónico:
revistadigital@itsta.edu.mx

Sitio WEB
<https://itsta.edu.mx/revistadigital>

ISSN 2448-8003

Reserva de derechos al uso exclusivo
No. 04-2016-092313253300-203

Editor responsable:
Dr. Horacio Bautista Santos

Copyright: Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

¹ Universidad Tecnológica de Altamira, México.

² Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México.

* Autor corresponsal: torres@utaltamira.edu.mx

Resumen: La presente investigación se enfoca en el diseño y construcción utilizando elementos de bajo costo de un módulo para la adquisición de datos que miden la calidad del aire y como estación meteorológica en la zona del puerto industrial de Altamira, el módulo fue construido utilizando un mástil de tubo de acero al carbón 1-1/4" cédula 30 de 2 metros, los elementos de monitoreo se resguardaron en un contenedor metálico para proteger del medio ambiente, durante el monitoreo de lograron obtener mediciones de humedad, temperatura, presión atmosférica, altitud, concentración de partículas en el aire, bióxido de carbono (CO₂), como controlador se utilizó un Arduino Uno.

Palabras clave: Monitoreo, Estación meteorológica, Adquisición de datos.

Abstract

This research focuses on the design and construction using low-cost elements of a module for the acquisition of data measuring air quality and as a meteorological station in the industrial port area of Altamira, the module was built using a carbon steel pipe mast 1-1/4" schedule 30 of 2 meters, the monitoring elements were kept in a metallic container to protect them from the environment. During monitoring, measurements of humidity, temperature, atmospheric pressure, altitude, concentration of particles in the air, carbon dioxide (CO₂), and an Arduino Uno was used as a controller.

Keywords: Monitoring, Weather station, Data acquisition.

Introducción

En las últimas décadas, el monitoreo ambiental ha cobrado una importancia creciente como herramienta fundamental para evaluar la calidad del aire y las condiciones meteorológicas locales, especialmente en zonas industrializadas donde los procesos productivos generan una alta carga contaminante (Arikan et al, 2025). La ciudad de Altamira, Tamaulipas, con su intensa actividad portuaria e industrial, representa un punto estratégico para el análisis de variables atmosféricas que inciden directamente en la salud pública y en los ecosistemas circundantes (Rodrigues et al, 2025)

Diversos estudios han demostrado la efectividad de sistemas de bajo costo para la medición de contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), las partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀) y otras variables meteorológicas (Spinelle et al, 2017; Castell et al, 2015). Estos desarrollos tecnológicos, apoyados en plataformas de hardware libre como Arduino, permiten democratizar el acceso a la tecnología y promueven la generación de datos locales con fines científicos, educativos y de gestión ambiental (Mead et al, 2013; Rai et al, 2017). La presente investigación tiene como objetivo el diseño y la construcción de un módulo portátil de adquisición de datos, que funcione tanto como estación meteorológica como sistema de monitoreo de calidad del aire. El diseño se basó en una estructura metálica de bajo costo y alta resistencia, empleando sensores ampliamente validados por la literatura científica, tales como el BMP280 para la presión atmosférica, el DHT22 para temperatura y humedad, y el MH-Z19 para la detección de CO₂ (Morawska, 2018; Lewis, 2016). Además,

se buscó asegurar la integridad operativa del sistema mediante una estructura de metal adecuada, a fin de proteger los componentes del medio ambiente salino y de alta humedad característico de la región costera.

El uso de microcontroladores como el Arduino Uno ha demostrado ser una solución eficaz y replicable para la integración de sensores ambientales, permitiendo un registro confiable de variables clave con costos significativamente menores respecto a sistemas comerciales (Hasenfratz, 2012; Castellini, 2021).

Estos avances han sido objeto de interés en revistas dedicadas al desarrollo sostenible y la ingeniería aplicada, que promueven la creación de soluciones tecnológicas alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (García, 2021; ONU, 2015).

Actualmente, investigaciones recientes en la Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social han resaltado la pertinencia de implementar herramientas tecnológicas accesibles para el monitoreo ambiental, particularmente en comunidades expuestas a riesgos ambientales derivados de la industrialización acelerada (Enríquez Hernández, 2018; Flores-Escobar et al, 2023). Estas aportaciones subrayan la necesidad de generar infraestructura científica de bajo costo, adaptable y contextualizada, que permita una toma de decisiones más informada y oportuna.

Asimismo, la integración de estaciones meteorológicas autónomas en entornos industriales ha sido reconocida como una práctica clave para anticipar condiciones críticas que puedan afectar la salud humana o el desempeño de procesos industriales sensibles (Nasser, 2025; Holstius, 2014). En especial, los estudios en entornos portuarios han evidenciado la correlación entre los niveles de concentración de partículas y la actividad logística, lo que enfatiza la necesidad de sistemas de vigilancia ambiental continua (Broday, 2011).

Por consiguiente, esta investigación no solo responde a una necesidad técnica, sino también a un compromiso ético con el desarrollo sustentable, al ofrecer una alternativa económicamente viable para el monitoreo ambiental comunitario, contribuyendo así a la construcción de territorios más resilientes y conscientes de su entorno.

Materiales y métodos

En la metodología propuesta se generan una serie de pasos para el desarrollo del proyecto que son los siguientes:

Análisis de materiales, sensores y diseño para la construcción del módulo. Se seleccionan los materiales específicos, sensores y se diseña la estructura para colocar el módulo. Los sensores que se consideran son para la medición de Temperatura, Humedad, Presión barométrica, Velocidad del viento, Dirección del viento y Precipitaciones.

Programación del módulo. Se programarán los diferentes sensores para la adquisición y almacenamiento de datos.

Construcción de la estructura y módulo de adquisición de datos. Se creará el diseño de la estructura para la estación, por medio del programa SOLIDWORKS, al igual se utilizará medidas precisas para la óptima medición de los sensores, con base del estudio previo se utilizará materiales específicos que sean capaces de soportar los distintos cambios meteorológicos.

Validación del funcionamiento y adquisición de datos. Se comprobará la medición de cada uno de los datos sean correctos.

En la Figura 1, se muestra la metodología a que se realiza para la construcción del módulo para la adquisición de datos.

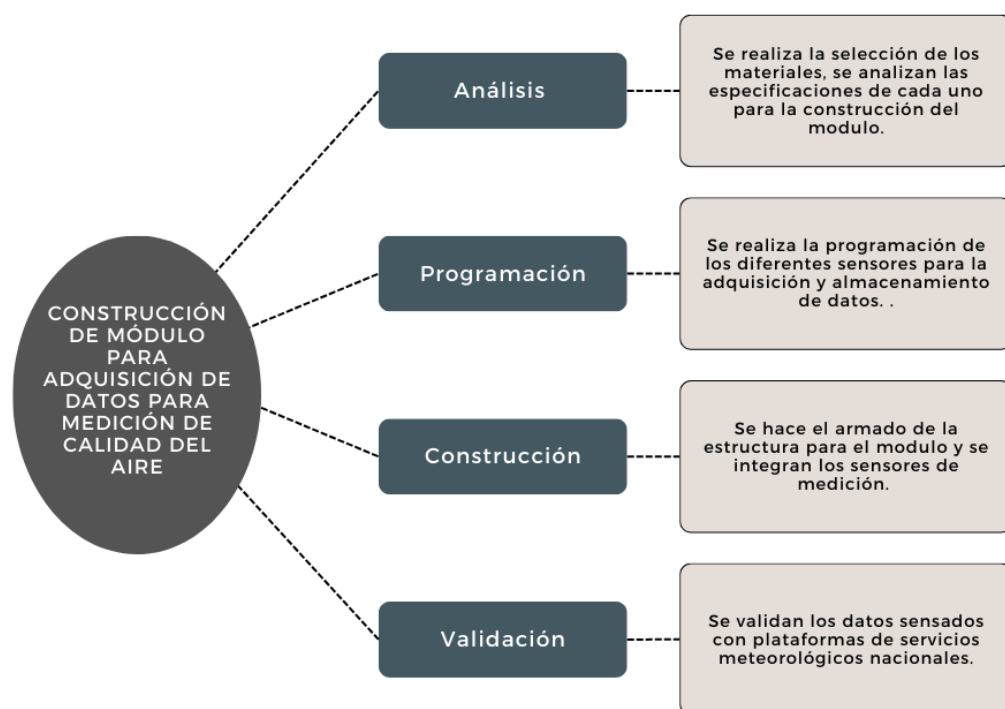


Figura 1. Metodología del proyecto.

Resultados y discusión

Se realizó un análisis comparativo de sensores disponibles en el mercado que cumplieran con criterios de bajo costo, facilidad de integración y adecuación para ambientes exteriores. Los sensores seleccionados permiten la medición de: Temperatura y humedad relativa (DHT11), Presión barométrica y altitud (BMP180), Calidad del aire (PMS5003, MQ-135), Dirección y velocidad del viento (anemómetro mecánico), Radiación UV (HW-837). El diseño estructural del módulo se elaboró en SolidWorks®, optimizando dimensiones para facilitar la instalación y proteger los sensores de condiciones ambientales adversas. Se empleó tubo de acero al carbón de 1¼" cédula 30 como mástil principal, complementado con abrazaderas y una caja metálica estanca para los circuitos electrónicos.

Se ensambla exitosamente el módulo de monitoreo, con un costo total estimado de \$5,145 MXN, cifra menor al de estaciones meteorológicas comerciales. Se genera una comparativa de costos de estaciones comerciales de gama media y alta, así como también con el módulo desarrollado, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de costos.

Descripción	Davis Vantage Pro2 (Gama media)	Campbell Scientific (Gama alta)	Modulo desarrollado (Prototipo)
Variables medidas	Temperatura, Humedad, Presión, PM	Temperatura, Humedad, Presión, PM, CO2	Temperatura, Humedad, Presión, PM, CO2
Tipos de sensores	Industriales	Industrial	Sensores de bajo costo
Fuente de energía	Eléctrica o solar	Eléctrica	Panel solar con baterías
Comunicación de datos	Wi-Fi/Ethernet	GSM/USB	USB, wifi (con ESP)
Aplicación	Investigación/monitoreo	Profesional/Investigación	Educación/Investigación
Plataforma de control	Propietaria	Propietaria	Código Abierto (ESP/Arduino)

Fuente: Elaboración propia con información de las páginas de los fabricantes (Instruments, 2025; Scientific, 2025).

El diseño de la estructura consideró la exposición prolongada a condiciones meteorológicas adversas, por lo que se utilizaron materiales resistentes como acero al carbón, sellado con abrazaderas y tornillería galvanizada. El sistema fue montado en una base de placa metálica de ¼" con soporte estable.

Realizar este módulo tuvo un costo menor en comparación a las estaciones meteorológicas profesionales, este instrumento, se realiza con un enfoque educativo en donde el alumno tenga la habilidad de aplicar los conocimientos adquiridos de la carrera de Mantenimiento Industrial y a la vez dejar el aporte a otros compañeros para la adquisición de datos y estos pueden ser manipulados a mejor conveniencia. En la siguiente grafico se muestra el costo de fabricación del módulo comparado con módulos profesionales, Figura 2.

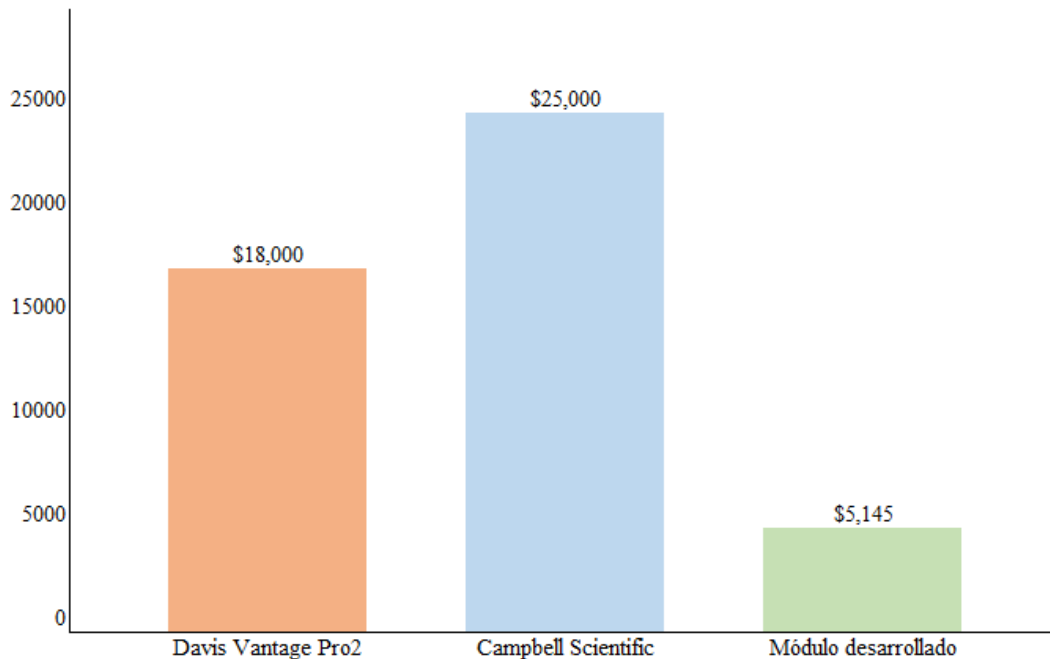


Figura 2. Comparación de costos entre estaciones meteorológicas y el módulo desarrollado.

En la etapa de programación se utilizó la IDE de Arduino, se realiza el código del funcionamiento del ESP32, el programa consiste en una rutina la cual monitorea haciendo lecturas periódicas de sensores (intervalos de 5 min), además de realizar un “dataset” de los datos obtenidos, los cuales son almacenados dentro de un archivo .txt de texto plano para su posterior procesamiento. Para validar que se recibieran los datos, estos eran mostrados a través del monitor serial de Arduino, como se puede ver en la Figura 3.

```
Salida Monitor Serie x
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'DOIT ES
Humedad:
73.80
Temperatura: 28.00 °C
Presión: 1007.21 mbar
Presión a nivel del mar: 1007.21 mbar
Altitud: 106.00 metros
Humedad:
73.30
Temperatura: 27.97 °C
Presión: 1007.18 mbar
Presión a nivel del mar: 1007.18 mbar
Altitud: 106.00 metros
Humedad:
73.10
```

Figura 3. Lectura de los sensores en Monitor serie de Arduino.

En la etapa de construcción, se diseñó una estructura donde se tomó en cuenta las condiciones meteorológicas, dimensiones para el correcto acomodo y funcionamiento de los dispositivos electrónicos, en la Figura 4 se muestran las dimensiones que tiene la estación.

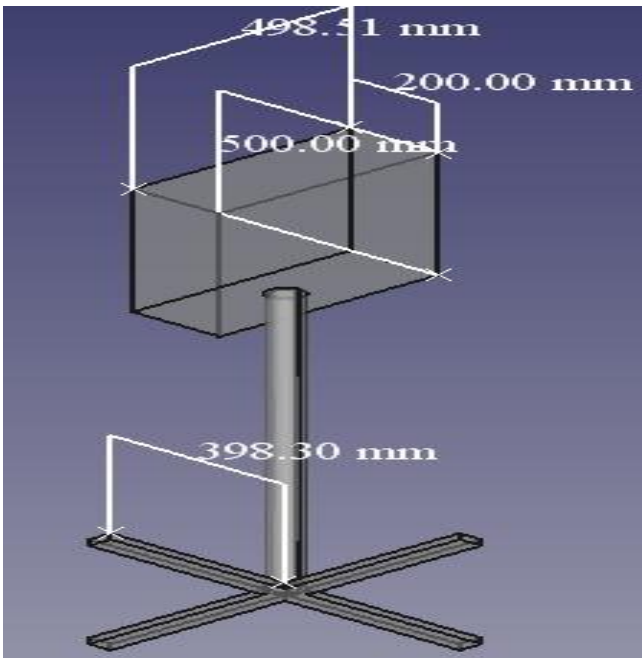


Figura 4. Diseño de la estructura para la estación meteorológica.

Se ensamblan los componentes físicos y electrónicos para el funcionamiento, se elabora un circuito para la integración de controlador con sensores, para la lectura, adquisición y almacenamiento de datos, como se muestra en la Figura 5.

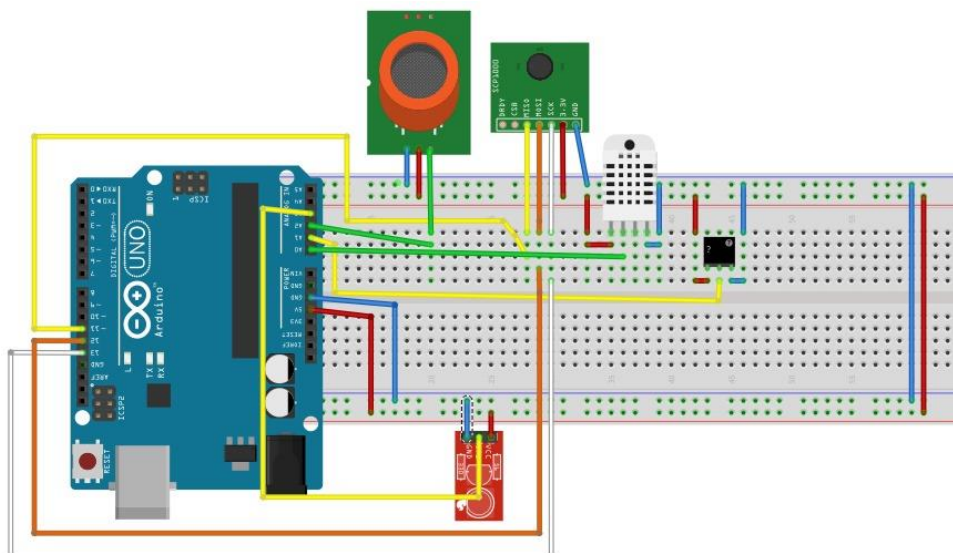


Figura 5 Diagrama de conexión del módulo

La validación del funcionamiento de la estación meteorológica, en un periodo de dos semanas a diferentes horas del día, se realizan lecturas con el módulo de la estación meteorológica, en plataformas <https://weather.com/> se hace la comparativa con información en tiempo real de la página. Se calculó un promedio de los días censados y se realiza una comparativa entre la estación meteorológica y la plataforma weather. En la Tabla 2, se muestra la comparativa.

El error relativo en todas las variables fue inferior al 10%, lo que valida el buen desempeño del sistema. Las mayores discrepancias se observaron en la medición de CO₂, atribuibles posiblemente a la sensibilidad del sensor MQ-135 y a su dependencia de factores como la humedad.

La medición de material particulado se realizó con el sensor PMS5003, que permite detectar partículas con diámetro $\leq 1.0 \mu\text{m}$ (PM1.0) y $\leq 2.5 \mu\text{m}$ (PM2.5). Estos contaminantes son de interés particular por su potencial impacto en la salud respiratoria. Se tiene como resultado la Tabla 3.

Tabla 2. Resultados comparativos de los datos obtenidos.

Concepto	Valor estación	Valor plataforma	Diferencia Absoluta	Error Relativo (%)
CO ₂ (ppm)	402.83	440.50	37.67	8.55%
Alcohol (ppm)	1.32	1.28	0.04	3.13%
CO (ppm)	3.91	3.75	0.16	4.27%
Tolueno (ppm)	0.55	0.52	0.03	5.77%
NH ₄ (ppm)	4.31	4.15	0.16	3.86%
Acetona (ppm)	0.466	0.450	0.016	3.56%
Humedad (%)	52.30 %	53.00 %	0.70	1.32%
Temperatura (°C)	29.29	28.85 °C	0.44	1.52%
Presión atmosférica (mbar)	1015.99	1016.50	0.51	0.05%
Altitud (m)	109 metros	108 metros	1	0.93%

Tabla 3. Comparativa de concentración de partículas en el aire.

Semana	PM 1.0 Estación (µg/m ³)	PM 1.0 Plataforma (µg/m ³)	PM 2.5 Estación (µg/m ³)	PM 1.0 Plataforma (µg/m ³)
1	5.0	4.80	7.8	7.16
2	6.0	5.55	6.33	6.30
Promedio	5.50	5.18	7.06	6.73

La diferencia promedio en PM1.0 fue de 0.32 µg/m³ y en PM2.5 fue de 0.33 µg/m³, lo que representa un error relativo del 6.17% y 4.90%, respectivamente. Este margen es aceptable considerando las condiciones no controladas del entorno.

La Figura 6 se muestra la comparativa de los valores promedio obtenidos por el módulo construido frente a los valores reportados por la plataforma meteorológica Weather.com. En términos generales, se observa una alta concordancia entre ambos conjuntos de datos.

Por ejemplo, la temperatura promedio registrada por la estación fue de 29.29 °C frente a 28.85 °C en la plataforma, lo que representa una diferencia relativa del 1.5%. De igual forma, la humedad relativa mostró una discrepancia menor al 1%, situándose en 52.30% (estación) y 53.00% (plataforma).

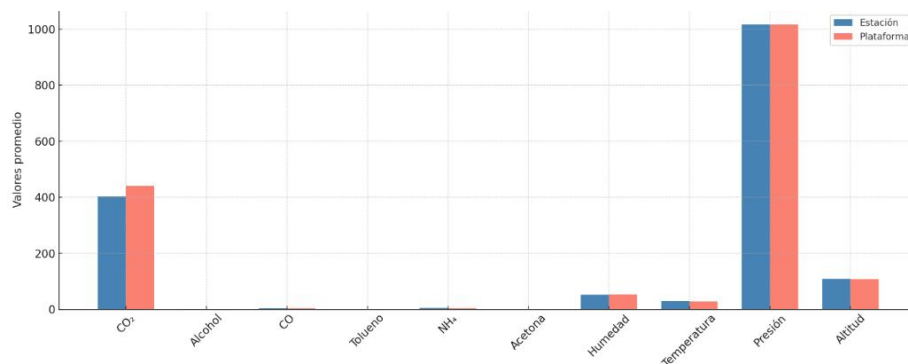


Figura 6 Comparación de variables entre estación y plataforma.

Para las variables relacionadas con la calidad del aire, se obtuvo un valor medio de CO₂ de 402.83 ppm, mientras que la plataforma reportó 440.50 ppm. Esta variación podría deberse a la ubicación precisa del sensor y a factores micro climáticos propios del entorno inmediato del dispositivo, lo que refuerza su potencial para caracterizaciones locales más específicas. La presión atmosférica presentó una diferencia inferior a 1 mbar entre ambos sistemas, lo cual valida la precisión del sensor BMP180 empleado. La altitud estimada por el módulo fue de 109 metros sobre el nivel del mar, muy cercana al valor de referencia (108 m), lo que confirma la adecuación del cálculo barométrico implementado.

En la Figura 7, se muestran los aspectos más relevantes del estudio fue la comparación de las concentraciones de partículas PM1.0 y PM2.5, debido a su impacto directo en la salud respiratoria. Durante la primera semana, el módulo registró una concentración promedio de PM1.0 de 5.0 µg/m³ y de PM2.5 de 7.8 µg/m³, mientras que la plataforma arrojó valores de 4.8 µg/m³ y 7.16 µg/m³ respectivamente. En la segunda semana, los valores mostraron una ligera elevación, siendo 6.0 µg/m³ para PM1.0 y 6.33 µg/m³ para PM2.5, en contraste con los datos externos de 5.55 µg/m³ y 6.30 µg/m³. Las diferencias oscilan entre el 3% y 8%, dentro de márgenes aceptables para instrumentos de bajo costo.

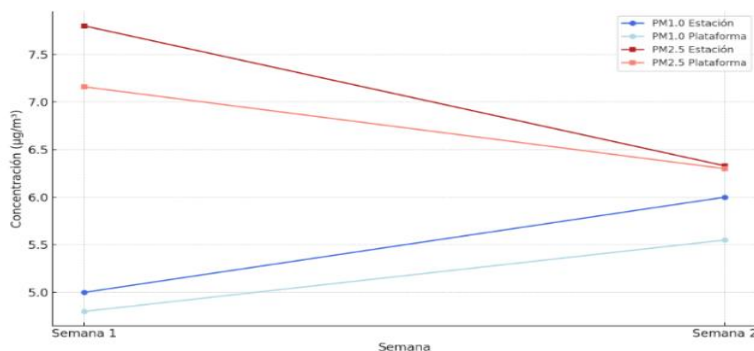


Figura 7 Comparativa semanal de partículas PM1.0 y PM2.5

El análisis muestra una tendencia de comportamiento consistente entre el sistema desarrollado y la referencia externa, lo que sugiere que, si bien el módulo no sustituye a estaciones de alta gama, sí cumple con los requisitos técnicos para aplicaciones educativas, comunitarias y de monitoreo ambiental preliminar.

El módulo mostró un funcionamiento estable durante todo el periodo de prueba, con capacidad de registro en tiempo real mediante el microcontrolador ESP32, almacenamiento local en formato .txt y visualización de datos vía monitor serial. La estructura metálica y la disposición física de los sensores demostraron ser adecuadas para las condiciones ambientales de la región, manteniendo la integridad del equipo sin fallas en el periodo de exposición.

El sistema cumple con los objetivos de monitoreo ambiental con un enfoque educativo. Estudiantes del área de Mantenimiento Industrial pudieron integrar conocimientos de instrumentación, programación y energías renovables. Además, se genera un repositorio de datos local con potencial para estudios longitudinales sobre calidad del aire en el Puerto Industrial de Altamira.

Conclusiones

El presente trabajo demostró la viabilidad técnica y económica de diseñar y construir un módulo de adquisición de datos meteorológicos y de calidad del aire utilizando componentes de bajo costo, con especial enfoque en su implementación en zonas industriales como el puerto de Altamira. La estructura fue desarrollada considerando criterios de resistencia ambiental, accesibilidad tecnológica y facilidad de ensamblaje, aspectos esenciales para promover su aplicación en entornos académicos y comunitarios.

La comparación entre los datos recolectados por el módulo y los obtenidos de plataformas oficiales (como weather.com) evidenció una consistencia aceptable, con diferencias mínimas en parámetros como temperatura, humedad y presión atmosférica, así como en la medición de gases contaminantes y partículas en suspensión. Los valores de PM1.0 y PM2.5 registrados durante dos semanas mostraron variaciones coherentes con las condiciones atmosféricas de la zona, lo cual respalda la confiabilidad de los sensores seleccionados.

En términos educativos, la implementación del proyecto permitió aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Mantenimiento Industrial, fomentando el

desarrollo de competencias en programación, instrumentación electrónica, diseño estructural y validación experimental. A pesar de tratarse de una estación de tipo didáctico, sus resultados indican un alto potencial de escalabilidad, ya sea para monitoreos prolongados, investigaciones ambientales o extensión hacia comunidades vulnerables que carecen de infraestructura para el seguimiento de la calidad del aire.

Finalmente, se concluye que la metodología empleada, basada en la integración de hardware libre, sensores de bajo costo y programación en entornos abiertos, constituye una alternativa sustentable y replicable para fortalecer tanto la formación técnica como el monitoreo ambiental en contextos reales. Como trabajo futuro, se sugiere ampliar el tiempo de observación a nivel mensual, incorporar calibración cruzada con instrumentos certificados y analizar los efectos estacionales sobre la concentración de PM1.0 y PM2.5, cuyo impacto en la salud pública sigue siendo de gran relevancia en zonas de alta actividad industrial.

Referencias bibliográficas

- Arıkan et al, İ. D. (2025). Air Quality of Bursa: Temporal and Spatial Evaluation of PM10, PM2.5, NO2 and SO2 Pollutants Using IDW Geostatistical Technique. *Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi 11(1)*, 181-193. doi:<https://doi.org/10.21324/dacd.1562860>
- Broday, D. M. (2011). Interurban differences in air pollution and related health effects in Israel. *Atmospheric Environment*, 45(34), 6059–6066. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.060>
- Castell et al, N. D. (2015). Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment International*, 99,, 293-302. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>
- Castellini, J. B. (2021). Development of low-cost air quality monitoring systems for urban environments. *Sensors*, 21(11), 3792. doi: <https://doi.org/10.3390/s21113792>
- Enríquez Hernández, J. A. (2018). Ecomentes, Resl social Ecológica . *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social*, 40-50.
- Flores et al, E. C. (2023). Diseño e implementación de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001:2015. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentavle y Desarrollo Social*, 605-620.
- García, A. M. (2021). Integración tecnológica en proyectos sustentables: caso de estaciones meteorológicas automatizadas. *Ingeniería e Investigación*,, 41(2), 120–130. doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n2.95177>

- Hasenfratz, D. S. (2012). Participatory air pollution monitoring using smartphones. *Mobile Sensing*, 1(1), 1–5.
- Holstius, D. M. (2014). Field calibrations of a low-cost aerosol sensor at a regulatory monitoring site in California. *Atmospheric Measurement Techniques* 7(4), 1121–1131. doi:<https://doi.org/10.5194/amt-7-1121-2014>
- Instruments, D. (20 de 06 de 2025). Davis I. Obtenido de https://www.davisnet.dk/pub/media/pdf/6152_62_53_63_SS.pdf?srltid=AfmBOopIXI22tzkM8AtoUp-g41KPG408iWzJHIGi79xceAQdYtZpERN3
- Lewis, A. &. (2016). Validate personal air-pollution sensors. *Nature*, 535(7610), 29-31. doi:<https://doi.org/10.1038/535029a>
- Losada, R. I. (2015). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Dinamicas, tendencias y variabilidad climatica*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/985ec80f-27ba-408a-90fd-d86fbd969e4b/content>
- Mead et al, M. I. (2013). The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, 70,, 186–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.060>
- Morawska, L. T.-S. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? *Environment International*, 116, 286–299. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.018>
- Nasser et al, K. M.-A. (2025). The Role of Public Health Awareness in Disease Prevention: A Critical Analysis. *The Bioscan*, 204-208. doi:<https://doi.org/10.63001/tbs.2025.v20.i01.pp204-208>
- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/agenda-2030/>
- Rai et al, A. C. (2017). End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Science of the Total Environment*, 607-608, 691-705. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266>
- Rodrigues et al, Y. S. (2025). Relação entre poluição ambiental e doenças transmitidas por vetores. *REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.55905/oelv23n1-140>

- Scientific, C. (20 de 06 de 2025). *ProfEC|Ventus*. Obtenido de https://shop.profec-ventus.com/images/Datasheets/Data_loggers/SCI/CR1000Xe/b_cr1000xe_datasheet.pdf
- Shop, O. S. (19 de 06 de 2025). *One Stop Wind Shop*. Obtenido de https://shop.profec-ventus.com/index.php?cat=c48_Meteorological-Sensor-meteorological-sensor.html
- Spinelle et al, L. G. (2017). Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. *Particulate Science and Technology*, 35(5),, 499–509. doi:<https://doi.org/10.1080/02726351.2016.1239285>