

# Implementación de un Sistema de Medición Meteorológica para el Análisis de Datos Implementation of a Meteorological Measurement System for Data Analysis.

Luis Gerardo Acosta Herrera <sup>a</sup>, Adolfo Meléndez Ramírez <sup>a</sup>

<sup>a</sup>División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México/ TES Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

## Resumen

La medición meteorológica es crucial para comprender y predecir las condiciones climáticas, impactando significativamente sectores como la agricultura, la aviación y la gestión de desastres. Las estaciones meteorológicas terrestres han sido tradicionalmente la base para la recopilación de datos esenciales, como la temperatura, la humedad, la presión atmosférica y la velocidad del viento. Sin embargo, los avances tecnológicos recientes han desarrollado nuevos métodos y dispositivos que mejoran tanto la precisión como la cobertura de estos sistemas. Además de los parámetros tradicionales, la calidad del aire también se incluye ahora como un aspecto crítico de las mediciones meteorológicas. Sensores avanzados y tecnologías como los satélites, drones y sensores remotos permiten obtener datos detallados sobre la concentración de contaminantes en el aire, como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono y las partículas en suspensión. Esta información adicional es crucial para un análisis y una predicción más precisos tanto de las condiciones meteorológicas como de la calidad del aire. Con datos más completos y precisos, es posible optimizar las decisiones en diversos sectores. En la agricultura, esto permite una mejor planificación de los cultivos y una protección contra condiciones adversas. En la aviación, mejora la seguridad de los vuelos mediante una mejor comprensión de las condiciones atmosféricas. En la gestión de desastres, facilita una respuesta más rápida y eficaz ante eventos climáticos extremos y problemas relacionados con la contaminación del aire.

**Palabras clave:** Meteorología, Calidad del aire, Contaminación atmosférica, Sensores, Recopilación de datos.

## Abstract

Meteorological measurement is crucial for understanding and predicting climatic conditions, significantly impacting sectors such as agriculture, aviation, and disaster management. Ground-based weather stations have traditionally been the foundation for collecting essential data, such as temperature, humidity, atmospheric pressure, and wind speed. However, recent technological advances have developed new methods and devices that improve both the precision and coverage of these systems. In addition to traditional parameters, air quality is now also included as a critical aspect of meteorological measurements. Advanced sensors and technologies such as satellites, drones, and remote sensors allow for detailed data on air pollutant concentrations, such as carbon dioxide, carbon monoxide, and particulate matter. This additional information is crucial for more accurate analysis and prediction of both weather conditions and air quality. With more complete and precise data, it is possible to optimize decisions in various sectors. In agriculture, this allows for better crop planning and protection against adverse conditions. In aviation, it improves flight safety through a better understanding of atmospheric conditions. In disaster management, it facilitates a faster and more effective response to extreme weather events and issues related to air pollution.

**Keywords:** Meteorology, Air quality, Atmospheric pollution. Sensors, Data collection.

\*Autor para la correspondencia: aohl201920272@tese.edu.mx

**Correo electrónico** aohl201920272@tese.edu.mx (Luis Gerardo Acosta-Herrera), adolfo\_melezdez@tese.edu.mx (Adolfo Meléndez Ramírez).

**Historial del manuscrito:** recibido el 21/05/2024, última versión-revisada recibida el 02/06/2024, aceptado el 05/06/2024, publicado el 19/07/2024.



## 1. Introducción

La medición meteorológica desempeña un papel fundamental en la comprensión y predicción de las condiciones climáticas, influyendo de manera significativa en diversos sectores, tales como la agricultura, la aviación, la gestión de recursos hídricos y la respuesta a desastres naturales. A lo largo del tiempo, las estaciones meteorológicas terrestres han sido la piedra angular para la recolección de datos esenciales, tales como la temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad del viento y la concentración de contaminantes en el aire, como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono y las partículas en suspensión. Estos datos son cruciales no solo para la elaboración de pronósticos meteorológicos precisos, sino también para la investigación científica y la toma de decisiones informadas en diversos ámbitos.

Sin embargo, la tecnología y los métodos tradicionales de medición han enfrentado limitaciones en términos de precisión, cobertura y capacidad de respuesta en tiempo real. Los recientes avances tecnológicos han dado lugar a nuevos métodos y dispositivos que prometen superar estas limitaciones. La integración de sensores avanzados, dispositivos de bajo costo y sistemas de almacenamiento de datos locales, junto con el uso de algoritmos de inteligencia artificial, ha revolucionado el campo de la meteorología. Estos desarrollos permiten no solo una mayor precisión en las mediciones, sino también una cobertura más amplia y una capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar e implementar sistemas de medición meteorológica más avanzados y eficientes. La incorporación de tecnologías emergentes no solo mejora la exactitud de los datos recolectados, sino que también facilita su análisis y utilización en tiempo real. Esto es particularmente importante en un mundo donde el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos se están volviendo cada vez más frecuentes y severos, requiriendo respuestas rápidas y bien informadas para mitigar sus impactos.

### 1.2. Hipótesis

Se plantea que la implementación de una estación meteorológica integrada con sensores de bajo costo y un sistema de almacenamiento de datos local, combinado con algoritmos de inteligencia artificial, permitirá obtener mediciones climáticas precisas y consistentes. Además, se espera que este sistema sea capaz de adaptarse a diversas condiciones ambientales y proporcionar datos en tiempo real, facilitando un análisis más profundo y predicciones más precisas. Esta solución no solo mejorará la precisión y la confiabilidad de las mediciones meteorológicas, sino que también tendrá el potencial de ser escalable y accesible, beneficiando tanto a investigadores como a profesionales de diversos sectores que dependen de información climática precisa para su trabajo diario.

## 2. Materiales y Método

Se Realizo una investigación para determinar los sensores que se utilizaron en el prototipo del sistema entre los cuales se emplearon los siguientes componentes y sensores:

Arduino GIGA R1 WiFi Microcontrolador utilizado como la unidad central de procesamiento para la gestión y recolección de datos de múltiples sensores, con capacidad de transmisión de datos en tiempo real gracias a su conectividad Wifi. [1] PMS7003 Sensor que permite medir las concentraciones de PM1.0, PM2.5 y PM10. [2] MQ131 Sensor de ozono utilizado para medir la concentración de O<sub>3</sub> en el aire con rango de detección de 10 ppb a 2 ppm [3]. MQ135 Sensor de calidad del aire que detecta CO<sub>2</sub> [4]. ML8511 Sensor UV que mide la intensidad de la radiación ultravioleta con rango de detección de 280-390 nm [5]. YL83 Sensor de lluvia utilizado para detectar la presencia y la intensidad de la precipitación [6]. BMP280 Sensor barométrico que mide la presión atmosférica y la temperatura [7]. DS18B20 Sensor de temperatura digital de alta precisión [8]. Velea Instrumento utilizado para determinar la dirección del viento [9]. Anemómetro utilizado para medir la velocidad del viento. Pluviómetro Instrumento para medir la cantidad de precipitación caída en un período específico.

Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino SEN0244

Sensor de sólidos disueltos totales (TDS) utilizado para medir la cantidad de sólidos disueltos en una solución con rango de medición de 0 a 1000 ppm [10]. Placa PCB (Printed Circuit Board) Placa de circuito impreso donde se montaron todos los componentes electrónicos y sensores [11]. Relé de 5V Interruptor electromecánico utilizado para controlar circuitos [12].

### 2.2. Diseño del Sistema

El sistema se diseñó utilizando una placa PCB personalizada que integraba todos los sensores mencionados, conectados al Arduino giga r1 wifi. Este diseño permitió una recolección y transmisión eficiente de datos en tiempo real a un servidor local para su almacenamiento y análisis posterior. Se puede observar el diseño de la placa en la figura 1

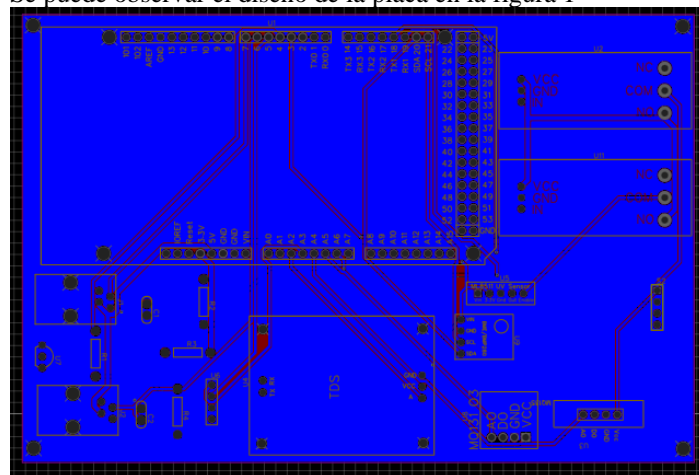


Figura 1 Placa Pcb

Se ha decidido diseñar una placa compacta para facilitar la portabilidad del sistema, con el objetivo de poder colocarla en una ubicación que optimice el rendimiento de los sensores. Se visualiza la distribución de los sensores en la placa mediante el modelo 3d de la figura 2

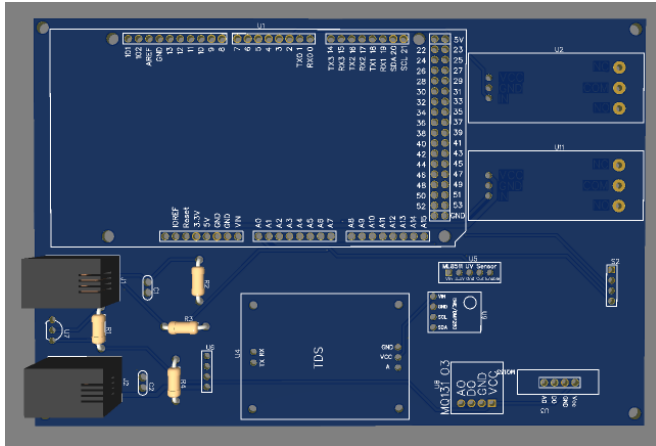


Figura 2 Modelo 3D

### 2.3. Configuración y Calibración

Cada sensor fue calibrado según las especificaciones del fabricante antes de su instalación, lo que incluyó ajustes de sensibilidad para los sensores MQ131, MQ135 y YL83. Utilizando librerías de software en Arduino, se optimizaron los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de cada sensor, logrando así una calibración óptima para los objetivos del sistema [13].

### 2.4. Recolección de Datos

Se realizaron pruebas previas del funcionamiento de los sensores y de la obtención de datos a través de una base de datos local, vinculada a un dashboard. Utilizando Angular como framework [14], se alojaron los datos de nuestros sensores de manera periódica para verificar su funcionamiento diario. En la figura 3 se observa el funcionamiento del sensor TDS.

```
TDS Value:0ppm
temperatura = 26.44°C
TDS Value:0ppm
temperatura = 26.50°C
TDS Value:67ppm
temperatura = 26.44°C
TDS Value:130ppm
temperatura = 26.44°C
TDS Value:130ppm
temperatura = 26.44°C
TDS Value:130ppm
temperatura = 26.50°C
TDS Value:129ppm
```

Figura 3 Prueba sensor digital

El objetivo de estas pruebas era observar la interacción de los sensores y depurar cualquier error que pudiera surgir durante su funcionamiento. Este proceso de validación y corrección era esencial para asegurar que los sensores operaran de manera óptima y sin problemas. Solo después de confirmar su correcto desempeño en estas condiciones controladas, se procedería a montar los sensores en la placa PCB.

Realizar esta etapa previa de pruebas y depuración permitía identificar y solucionar posibles fallos en el sistema, garantizando así una mayor fiabilidad y precisión una vez que los sensores estuvieran integrados en la placa final. Además, este enfoque preventivo ayudaba a evitar problemas durante la fase de ensamblaje y a reducir el tiempo de desarrollo total del proyecto [15]. Se pudo observar la conexión de los sensores con el Arduino giga en la figura 4.

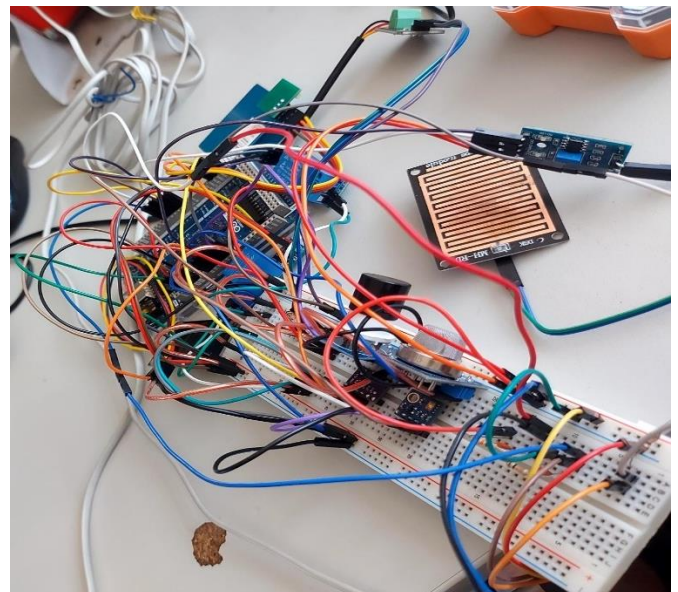


Figura 4 Prueba de sensor

### 2.5. Transmisión de Datos

Los datos recolectados por los sensores se enviaban a una base de datos local en MySQL, lo que permitía acceder a ellos

mediante consultas y observar sus parámetros conforme a las mediciones diarias. Esta metodología facilitaba un análisis detallado y continuo del rendimiento de los sensores, asegurando que la información recopilada fuera precisa y consistente [16]. En la figura 5 se observa la obtención de datos en tiempo real

```

PROBLEMS 2 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS GITLENS
> TERMINAL
uv: '0.51',
pm10_env: '23.00',
pm25: '36.00',
pm100_env: '45.00',
windSpeed: '0.00',
direction: '1023',
'co2464.45': ''
}
Directorio global 880
[Object: null prototype] {
  temperatura: '23.08',
  pressure: '81710.64',
  altitud: '1778.34',
  ozono: '15.20',
  air_quality: '23',
  uv: '0.49',
  pm10_env: '23.00',
  pm25: '34.00',
  pm100_env: '45.00',
  windSpeed: '2.40',
  direction: '880',
  'co2481.96': ''
}

```

Figura 5 Recoleccion de datos

El objetivo principal de este enfoque era implementar, en una etapa posterior, la transmisión de datos a un servidor local para su almacenamiento en grandes volúmenes. Este almacenamiento masivo de datos tenía como propósito preparar el terreno para la futura implementación de algoritmos de inteligencia artificial. Con una cantidad significativa de datos históricos y en tiempo real, sería posible desarrollar modelos de aprendizaje automático que optimizarían el análisis y la interpretación de las mediciones, mejorando así la eficiencia y precisión del sistema.

La transición hacia un servidor local para el almacenamiento de datos conlleva múltiples beneficios. En primer lugar, esta migración permitiría ampliar considerablemente la capacidad de almacenamiento [17], lo cual es esencial para manejar grandes volúmenes de datos generados continuamente por los sensores de la estación meteorológica. Esta capacidad adicional es crucial para almacenar no solo los datos actuales sino también los históricos, proporcionando una base sólida para el análisis longitudinal y la detección de patrones a largo plazo [18].

Además de la ampliación de la capacidad de almacenamiento, la transición a un servidor local mejoraría significativamente la seguridad de la información. Al contar con un servidor dedicado y controlado localmente, se pueden implementar medidas de seguridad más robustas y personalizadas, protegiendo los datos sensibles contra accesos no autorizados y posibles ciberataques. Esta mejora en la seguridad es fundamental para garantizar la integridad y confidencialidad de los datos recopilados.

La accesibilidad de la información también se vería beneficiada con esta transición. Al centralizar el almacenamiento en un servidor local, se facilita el acceso a los

datos para el análisis y procesamiento en tiempo real. Esto es particularmente importante cuando se requiere una respuesta rápida a las condiciones meteorológicas cambiantes. Los datos almacenados localmente estarían disponibles de manera inmediata, sin depender de la latencia o problemas de conectividad asociados con servidores remotos.

La disponibilidad de una gran cantidad de datos precisos y accesibles sienta las bases para la implementación de algoritmos de inteligencia artificial. Con datos históricos y en tiempo real, se pueden desarrollar y entrenar modelos de aprendizaje automático que sean capaces de realizar análisis predictivos y prescriptivos. Estos modelos pueden identificar tendencias y patrones ocultos en los datos, proporcionando información valiosa para mejorar la toma de decisiones. Por ejemplo, los algoritmos de inteligencia artificial podrían predecir eventos meteorológicos adversos con mayor precisión, optimizar la gestión de recursos y facilitar la planificación de actividades basadas en las condiciones climáticas.

La implementación de técnicas avanzadas de procesamiento de datos y análisis inteligente permitiría realizar estudios más complejos y detallados. Las herramientas de análisis de datos avanzado, combinadas con algoritmos de inteligencia artificial, podrían extraer información valiosa y generar insights profundos a partir de los datos recopilados. Esto no solo mejoraría la precisión y eficiencia del sistema, sino que también permitiría desarrollar soluciones innovadoras para diversos desafíos meteorológicos.

## 2.6. Modelo 3D

Para integrar los sensores al sistema de manera eficiente, se decidió desarrollar distintos modelos para impresión 3D utilizando filamento, lo cual permitió obtener resultados óptimos adaptados a las características específicas de cada sensor. Este enfoque nos proporcionó la flexibilidad necesaria para diseñar soportes personalizados que garantizaran el mejor rendimiento posible de los sensores dentro de la estación meteorológica [19].

En particular, se prestó especial atención al diseño y fabricación de bases para los sensores ML8511 y YL83. El sensor ML8511, encargado de medir la radiación ultravioleta, requiere una orientación precisa y estable para capturar datos precisos sobre la intensidad de la luz solar [20]. Por ello, se diseñó una base específica que no solo lo mantiene en una posición fija y óptima, sino que también facilita su rotación y ajuste a lo largo del día para seguir la trayectoria del sol [21]. Esta base fue concebida con detalles precisos para asegurar que el sensor esté expuesto adecuadamente a la luz solar en todo momento, maximizando así la precisión de las mediciones.

Por otro lado, el sensor YL83, utilizado para detectar la presencia de agua de lluvia, fue montado en una base especialmente diseñada para ser ubicada cerca del pluviómetro. Esta disposición estratégica permite que el sensor YL83 trabaje en conjunto con el pluviómetro,

mejorando la precisión en la detección y cuantificación de la lluvia. La base fue fabricada con materiales resistentes a la intemperie y con un diseño que facilita la evacuación del agua, evitando acumulaciones que podrían afectar las lecturas.

Ambos diseños de bases fueron creados teniendo en cuenta la necesidad de ubicarlos estratégicamente cerca de la fuente central del Arduino. Esto no solo facilita la conexión y comunicación de los sensores con el microcontrolador, sino que también reduce la cantidad de cableado necesario, minimizando posibles interferencias y mejorando la fiabilidad del sistema. Además, la proximidad al Arduino permite una configuración más ordenada y accesible, facilitando el mantenimiento y las posibles actualizaciones del sistema.

El uso de impresión 3D para fabricar estas bases ofreció varias ventajas, como la posibilidad de realizar ajustes y mejoras rápidamente en el diseño, la capacidad de producir piezas personalizadas con alta precisión, y la reducción de costos en comparación con métodos de fabricación tradicionales. La implementación de estos modelos impresos en 3D demostró ser una solución efectiva y versátil para optimizar la integración de los sensores ML8511 y YL83 en la estación meteorológica, asegurando un rendimiento superior y una instalación más eficiente. En la figura 6 se puede visualizar la representación del modelo 3d para la recolección de agua para los sensores SEN0244 y DS18B20

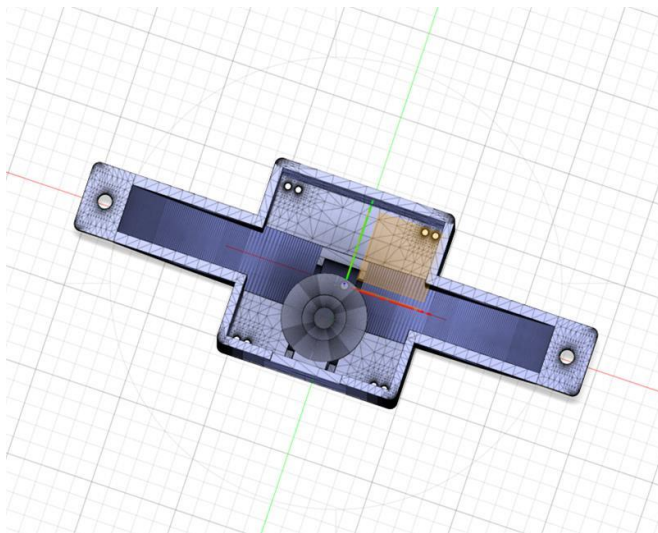


Figura 6 Modelo sensor SEN0244

El uso de la impresión 3D permitió personalizar y ajustar las estructuras de soporte para cada sensor, asegurando una fijación segura y una alineación adecuada con otros componentes del sistema. Este enfoque también facilitó la integración de los sensores en la estación meteorológica, permitiendo una configuración más eficiente y efectiva que maximiza el rendimiento y la precisión de las mediciones. En la figura 7 se obtiene el modelo del sensor ML8511 este modelo se realiza con el fin de dar la visibilidad al sensor respecto al rango del sol.

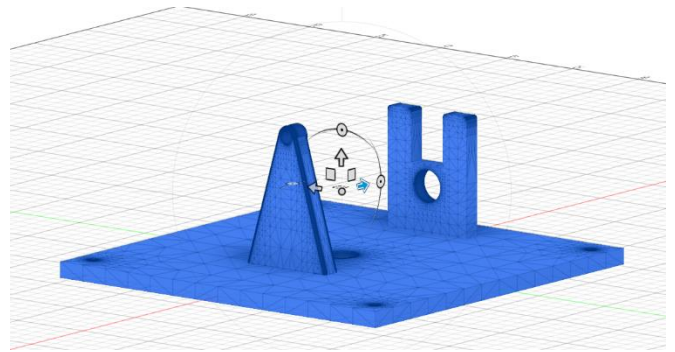


Figura 7 Modelo ML8511

Además, la flexibilidad proporcionada por la impresión 3D ofreció la posibilidad de iterar rápidamente en los diseños, haciendo ajustes basados en pruebas y observaciones iniciales. Esto resultó en un proceso de desarrollo más dinámico y adaptable, asegurando que los sensores no solo estuvieran bien posicionados, sino también protegidos y operando en condiciones óptimas. Así, se garantizó que la estación meteorológica pudiera proporcionar datos precisos y confiables, esenciales para el análisis y la toma de decisiones futuras. Se observa el modelo del sensor YL83 para la detección de lluvia en la figura 8.

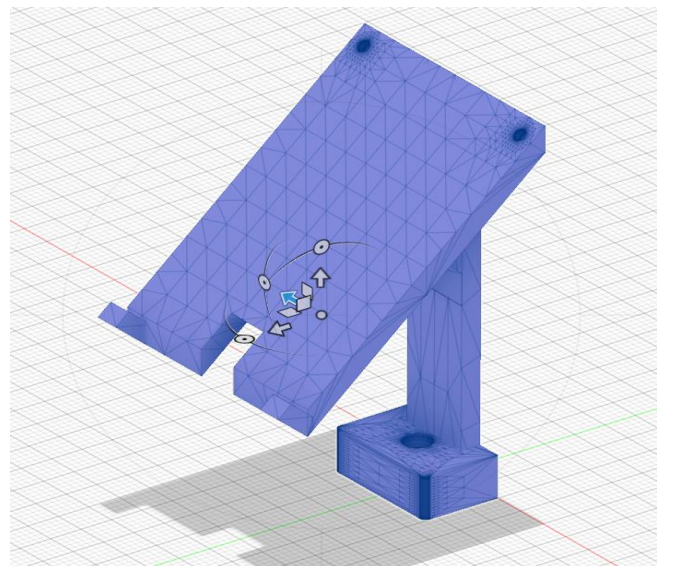


Figura 8 Modelo YL83

Al igual que con los sensores ML8511 y YL83, se desarrollaron soluciones específicas para los sensores SEN0244 y DS18B20. Estos sensores fueron integrados en una base diseñada para permitir el flujo de agua, lo que era crucial para realizar las mediciones correspondientes. Dado que estos sensores operan en conjunto para proporcionar datos precisos sobre las condiciones ambientales, su integración en un único modelo era una prioridad.

La base diseñada para los sensores SEN0244 y DS18B20 no solo garantizaba un flujo de agua adecuado para sus mediciones, sino que también aseguraba su correcta colocación y protección. Este diseño optimizado permitía que ambos sensores trabajaran de manera coordinada, maximizando su precisión y eficiencia en la recolección de

datos. En la figura 9 se observa la impresión y colocación de los modelos de los respectivos sensores.

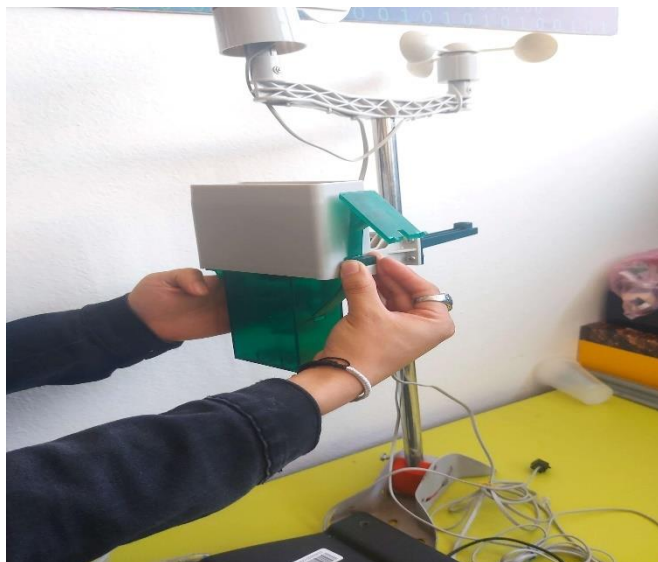


Figura 9 Modelos Impresos

Además, la integración en una sola estructura facilitaba el proceso de instalación y mantenimiento. Al tener ambos sensores en una misma base, se reducía la complejidad del sistema y se mejoraba su robustez, permitiendo un funcionamiento confiable en diversos entornos. Esto era especialmente importante para asegurar que el sistema pudiera operar de manera efectiva en condiciones variables y en ubicaciones remotas.

El uso de impresión 3D para fabricar estas bases permitió personalizar las características físicas y funcionales de la estructura, adaptándola perfectamente a las necesidades específicas de los sensores SEN0244 y DS18B20. Esta personalización no solo mejoró el rendimiento del sistema, sino que también permitió una rápida iteración y optimización del diseño, asegurando que los sensores pudieran realizar sus mediciones con la mayor precisión posible, independientemente del entorno en el que se encontraran.

### 2.7. Limitaciones

Los sensores que se implantaron en este sistema merecen una mención detallada, ya que su selección se basó en la idea de desarrollar una estación meteorológica de bajo costo. Sin embargo, es importante destacar que esta elección presenta ciertas limitaciones significativas.

En primer lugar, los sensores MQ135 y MQ131, utilizados para medir la calidad del aire, enfrentan grandes restricciones debido a la necesidad de calibraciones precisas. Estas calibraciones son esenciales para obtener resultados fiables, pero pueden hacer que los datos recolectados sean inconsistentes y varíen considerablemente si no se ajustan adecuadamente.

El sensor de rayos UV ML8511 también presenta limitaciones inherentes a su diseño. La precisión de este sensor depende en gran medida del ángulo en el que capta la

luz solar. Si el sensor no está alineado correctamente con respecto al sol, los resultados pueden variar significativamente, lo que afecta la exactitud de las mediciones de radiación ultravioleta.

Otro componente crucial del sistema es el pluviómetro mecánico, que hemos elegido para medir la precipitación. Este dispositivo utiliza un interruptor magnético, pero su diseño presenta problemas que pueden generar falsos positivos. Estos errores se deben al propio diseño del fabricante, lo que constituye un desafío considerable para la fiabilidad del proyecto.

En resumen, aunque la implementación de sensores de bajo costo es una estrategia atractiva para reducir gastos, las limitaciones técnicas y de diseño de los sensores MQ135, MQ131, ML8511 y del pluviómetro mecánico con interruptor magnético plantean desafíos significativos. Estas dificultades pueden afectar la precisión y consistencia de los datos recolectados, lo que representa un obstáculo importante para el desarrollo y la eficacia general del sistema meteorológico propuesto.

### 2.8. Resolución

Para abordar las limitaciones mencionadas previamente, se llevó a cabo una investigación exhaustiva con el objetivo de resolver los problemas presentados en el apartado anterior. Para ello, se procedió a calibrar los sensores MQ131 y MQ135 utilizando las librerías del software de Arduino y realizando cálculos relacionados con la concentración de gases. En particular, se prestó especial atención al sensor MQ135, dado que este dispositivo tiene la capacidad de detectar diversos tipos de gases. Sin embargo, esta característica afecta su funcionalidad, por lo que se decidió restringir su uso únicamente a la detección de dióxido de carbono. Esta medida se implementó con el fin de mejorar la calidad de los datos recopilados para el sistema.

En cuanto al sensor ML8511, se desarrolló un modelo en 3D que permite rotar el sensor en función del desplazamiento del sol. Este modelo incluye un servomotor que asegura su correcto funcionamiento. El propósito de esta configuración es ajustar la posición del sensor a lo largo del día, siguiendo la trayectoria solar, y limitar las lecturas dependiendo del momento del día, mejorando así la precisión de las mediciones de radiación ultravioleta. Además, se ajustó la lectura del sensor para que funcione de manera óptima durante las horas de luz solar, limitando su actividad en función del tiempo del día para evitar lecturas inexactas.

Finalmente, para solucionar los desafíos asociados al pluviómetro, se integró el sensor YL83. La combinación de estos dos sensores garantiza el correcto funcionamiento del pluviómetro. El sensor YL83 permite introducir una condición al momento de codificar los sensores, lo cual ayuda a eliminar los falsos positivos. De esta manera, cuando hay lluvia, los datos se recopilan correctamente, y en ausencia de lluvia, no se registran datos en la base de datos.

En conjunto, estas mejoras técnicas aseguran que el sistema de medición meteorológica funcione de manera más precisa y eficiente, superando las limitaciones iniciales y

proporcionando datos más fiables para el análisis y la predicción climática.

### 3. Resultados

Los resultados obtenidos durante la fase de pruebas fueron óptimos. Al verificar el funcionamiento de los sensores en distintos escenarios, se pudo observar un rendimiento consistente para cada sensor, con parámetros estables a lo largo del tiempo. No se presentaron complicaciones ni fallas en ningún sensor, lo que indica que el proceso de ensamblaje en la placa PCB no debería presentar problemas gracias a estas pruebas de rendimiento [22].

Estas pruebas se llevaron a cabo bajo diversas condiciones para asegurarse de que cada sensor pudiera operar dentro de sus limitaciones específicas. Nuestro sistema implementó soluciones adaptadas para superar estas limitaciones, logrando así los mejores resultados posibles. El rendimiento del sistema se mantuvo sin problemas, lo que demuestra su fiabilidad y eficacia.

Además, este enfoque nos permitió planificar futuras actualizaciones, como la transición a un servidor local para un almacenamiento de datos más robusto. Esto es esencial para la implementación de algoritmos de inteligencia artificial, que podrán integrar predicciones precisas en el dashboard operativo. Con un mayor almacenamiento y el uso de IA, el sistema podrá proporcionar análisis más avanzados y predictivos, mejorando aún más su utilidad y eficiencia [23].

La fase de pruebas también validó la capacidad del sistema para adaptarse y evolucionar, asegurando que puede soportar actualizaciones y mejoras continuas. La estabilidad observada durante estas pruebas refuerza la confianza en la durabilidad y la precisión del sistema, preparando el terreno para integraciones tecnológicas más avanzadas en el futuro.

### 4. Discusión

Con base en los resultados obtenidos durante la fase de pruebas, se ha evidenciado que los sensores implementados en la estación meteorológica han mostrado un rendimiento óptimo. La verificación del funcionamiento de los sensores en diversos escenarios demostró una consistencia notable en los parámetros medidos, manteniendo su estabilidad a lo largo del tiempo. Este desempeño sin fallos indica que el proceso de ensamblaje en la placa PCB ha sido adecuado, lo cual minimiza los riesgos de problemas técnicos en la implementación final.

Las pruebas realizadas bajo diferentes condiciones ambientales han confirmado que cada sensor puede operar dentro de sus límites específicos. Esto se logró mediante la implementación de soluciones adaptadas para superar las limitaciones de los sensores, asegurando así resultados precisos y consistentes. El hecho de que el sistema haya mantenido su rendimiento sin complicaciones refuerza la confiabilidad y eficacia de nuestra solución tecnológica.

Un aspecto crucial de nuestro sistema es su capacidad para futuras actualizaciones. La planificación incluye la transición hacia un servidor local para un almacenamiento de datos más

robusto, lo cual es esencial para la implementación de algoritmos de inteligencia artificial. Estos algoritmos podrán integrarse en el dashboard operativo, proporcionando predicciones más precisas y análisis avanzados. Este avance no solo mejorará la utilidad del sistema, sino que también incrementará su eficiencia al permitir un análisis más profundo de los datos recopilados.

La fase de pruebas también validó la adaptabilidad y capacidad de evolución del sistema. La estabilidad observada asegura que el sistema puede soportar actualizaciones y mejoras continuas sin comprometer su desempeño. Este atributo es fundamental para integrar tecnologías más avanzadas en el futuro, consolidando la durabilidad y precisión del sistema [24].

En resumen, los resultados indican que la implementación de una estación meteorológica integrada con sensores de bajo costo y un sistema de almacenamiento de datos local, combinado con algoritmos de inteligencia artificial, no solo es viable sino también altamente eficiente. La capacidad del sistema para adaptarse a diversas condiciones ambientales y proporcionar datos en tiempo real facilita un análisis profundo y predicciones climáticas precisas. Esto apoya nuestra hipótesis inicial y sugiere que este enfoque podría revolucionar la recolección y análisis de datos meteorológicos, mejorando significativamente la precisión y cobertura de estos sistemas [25].

### 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos durante la fase de pruebas fueron altamente satisfactorios, confirmando la hipótesis inicial de que una estación meteorológica integrada con sensores de bajo costo y un sistema de almacenamiento de datos local, en combinación con algoritmos de inteligencia artificial, puede proporcionar mediciones climáticas precisas y consistentes. Este proyecto ha demostrado que el sistema es capaz de adaptarse a diversas condiciones ambientales y ofrecer datos en tiempo real, facilitando un análisis más profundo y predicciones más precisas.

Al verificar el funcionamiento de los sensores en distintos escenarios, se observó un rendimiento consistente para cada sensor, con parámetros estables a lo largo del tiempo. No se presentaron complicaciones ni fallas en ningún sensor, lo que sugiere que el proceso de ensamblaje en la placa PCB no debería presentar problemas en futuras implementaciones. La estabilidad de los sensores bajo diferentes condiciones es un indicador de la robustez del sistema y su capacidad para operar de manera confiable en entornos variados.

Estas pruebas se llevaron a cabo bajo una variedad de condiciones para asegurarse de que cada sensor pudiera operar dentro de sus limitaciones específicas. El sistema implementó soluciones adaptadas para superar estas limitaciones, logrando así los mejores resultados posibles. El rendimiento del sistema se mantuvo sin problemas, lo que demuestra su fiabilidad y eficacia. La consistencia en el desempeño de los sensores y del sistema en general es crucial para aplicaciones meteorológicas, donde la precisión y la estabilidad son esenciales para la recolección de datos válidos y útiles.

La capacidad del sistema para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y mantener un rendimiento estable es un aspecto destacable. Esto garantiza que el sistema puede ser utilizado en diversas ubicaciones geográficas y bajo distintas condiciones climáticas sin comprometer la calidad de los datos recolectados. Además, la adaptabilidad del sistema sugiere que puede ser escalado o modificado para incorporar nuevos sensores o tecnologías en el futuro, lo cual es un gran beneficio para su aplicación a largo plazo.

Un aspecto significativo de esta investigación es la planificación para futuras actualizaciones del sistema. Hemos identificado la necesidad de una transición a un servidor local para un almacenamiento de datos más robusto. Esto es esencial para la implementación de algoritmos de inteligencia artificial, que podrán integrar predicciones precisas en el dashboard operativo. Con un mayor almacenamiento y el uso de IA, el sistema podrá proporcionar análisis más avanzados y predictivos, mejorando aún más su utilidad y eficiencia [26].

El almacenamiento local de datos no solo permitirá un acceso más rápido y seguro a los datos recolectados, sino que también facilitará la implementación de algoritmos más complejos que requieren grandes volúmenes de datos para entrenarse. Esta capacidad mejorada para almacenar y procesar datos será crucial para el desarrollo de modelos predictivos más precisos y fiables. Además, el uso de IA permitirá la detección de patrones y tendencias en los datos meteorológicos que podrían no ser evidentes mediante análisis tradicionales, proporcionando así un valor añadido significativo [27].

Validación de la Capacidad del Sistema para Evolucionar

La fase de pruebas también validó la capacidad del sistema para adaptarse y evolucionar, asegurando que puede soportar actualizaciones y mejoras continuas. La estabilidad observada durante estas pruebas refuerza la confianza en la durabilidad y la precisión del sistema, preparando el terreno para integraciones tecnológicas más avanzadas en el futuro. Esta capacidad de evolución es fundamental para mantener la relevancia y utilidad del sistema a lo largo del tiempo, especialmente en un campo tan dinámico como la meteorología.

La durabilidad y precisión del sistema, demostradas a través de estas pruebas, sugieren que el sistema podrá soportar el desgaste del uso continuo y las condiciones ambientales adversas. Esto es particularmente importante para aplicaciones a largo plazo donde la fiabilidad del sistema es crucial para la recolección de datos continuos y precisos. Además, la capacidad de integrar nuevas tecnologías y sensores en el sistema existente asegura que podrá evolucionar con los avances tecnológicos, manteniendo su eficacia y relevancia [28].

En resumen, los resultados de esta investigación confirman la viabilidad técnica y la eficacia del sistema de estación meteorológica propuesto. La implementación de sensores de bajo costo junto con un sistema de almacenamiento de datos local y algoritmos de inteligencia artificial ha demostrado ser una solución efectiva para obtener mediciones climáticas precisas y consistentes. La adaptabilidad del sistema a diversas condiciones ambientales y su capacidad para

proporcionar datos en tiempo real facilitan un análisis más profundo y predicciones más precisas [29].

Estos resultados no solo confirman la hipótesis inicial, sino que también subrayan el potencial del sistema para futuras mejoras y aplicaciones. La capacidad de adaptación y evolución del sistema asegura que puede mantenerse al día con los avances tecnológicos y las cambiantes necesidades del campo de la meteorología. Además, la implementación de almacenamiento local y algoritmos de inteligencia artificial abre nuevas oportunidades para el análisis avanzado y la predicción, mejorando significativamente la utilidad y el impacto del sistema.

En conclusión, el desarrollo y las pruebas de este sistema de estación meteorológica han sido exitosos, y las perspectivas para su implementación y evolución futura son muy prometedoras. Este sistema no solo proporciona una solución eficaz para la recolección y análisis de datos meteorológicos, sino que también establece una base sólida para futuras innovaciones en el campo. La combinación de sensores precisos, almacenamiento de datos robusto y análisis basado en IA posiciona al sistema como una herramienta valiosa para la comprensión y predicción de las condiciones climáticas.

## 6. Referencias

- [1] arduino, «arduino docs,» [En línea]. Available: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00063-datasheet.pdf>. [Último acceso: 27 03 2024].
- [2] Platonwer, «Kami,» [En línea]. Available: [https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua\\_English\\_V2.5.pdf](https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf). [Último acceso: 28 03 2024].
- [3] winsen, «Sparkfun,» 01 05 2014. [En línea]. Available: <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/9/6/e/4/mq131-datasheet-low.pdf>. [Último acceso: 27 03 2024].
- [4] H. ELECTRONICS, «electronicoscaldas,» [En línea]. Available: [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135\\_Hanwei.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf). [Último acceso: 27 03 2024].
- [5] LapisSemiconductor, «sparkfun,» 08 03 2013. [En línea]. Available: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511\\_3-8-13.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf). [Último acceso: 28 03 2024].
- [6] Vaisala, «urolakostapk,» 2015. [En línea]. Available: [https://urolakostapk.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/y1-83-rain-detector-datasheet\\_low.pdf](https://urolakostapk.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/y1-83-rain-detector-datasheet_low.pdf). [Último acceso: 09 04 2024].
- [7] B. Sentsortec, «adafruit,» 05 05 2015. [En línea]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>. [Último acceso: 14 04 2024].
- [8] D. Semiconductor, «alldatasheet,» [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html>. [Último acceso: 13 04 2024].
- [9] argentdata, «argentdata,» [En línea]. Available: <https://www.argentdata.com/files/80422-datasheet.pdf>. [Último acceso: 06 04 2024].
- [10] DFROBOT, «Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino (SKU: SEN0244),» [En línea]. Available: [https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/2309/SEN0244\\_Web.pdf](https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/2309/SEN0244_Web.pdf). [Último acceso: 27 03 2024].
- [11] easyeda, «easyeda,» [En línea]. Available: <https://easyeda.com/editor#id=ecca040781474f5fb307a32f6e078db26ab2ff8de7f24d9c89eb1a8b23eef04ac530692e2b7c4a2897a0121e03b578b9fd481344b023417bb9aa201bfe7314c2>. [Último acceso: 17 04 2024].
- [12] Songle, «naylampmechatronics,» [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/img/cms/000263/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet.pdf>. [Último acceso: 22 04 2024].



- [13] arduino, «arduino docs,» [En línea]. Available: <https://github.com/NuclearPhoenix/MQ135>. [Último acceso: 22 04 2024].
- [14] Angular, «angular.io,» [En línea]. Available: <https://angular.io>. [Último acceso: 12 04 2024].
- [15] J. d. A. Lucia, «Junta de Anda Lucia,» [En línea]. Available: [https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002996/helvia/aula/archivos/repositorio/250/278/html/Proyecto%20Reess/material/tecnicas/ataque\\_quimico.htm](https://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002996/helvia/aula/archivos/repositorio/250/278/html/Proyecto%20Reess/material/tecnicas/ataque_quimico.htm). [Último acceso: 27 04 2024].
- [16] Arduino, «Arduino Docs,» 06 2020. [En línea]. Available: <https://forum.arduino.cc/t/enviar-datos-mediante-arduino-mega-a-base-de-datos-remota/661592>. [Último acceso: 23 04 2024].
- [17] R. zone, «Redes Zone,» [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/servidores/ubuntu-server-instalacion-configuracion/>. [Último acceso: 25 04 2024].
- [18] S. S. Vincenti, «redaly,» [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047400004.pdf>. [Último acceso: 18 04 2024].
- [19] S. Word, «Solid,» [En línea]. Available: [https://help.solidworks.com/2020/spanish/SolidWorks/sldworks/c\\_3d\\_sk\\_etching\\_top.htm](https://help.solidworks.com/2020/spanish/SolidWorks/sldworks/c_3d_sk_etching_top.htm). [Último acceso: 22 04 2024].
- [20] L. Ard, «Arduino Forum,» 07 2017. [En línea]. Available: <https://forum.arduino.cc/t/distancia-cableado-de-sensores/470481>. [Último acceso: 22 04 2024].
- [21] meteorito, «meteorito,» [En línea]. Available: <https://meteorito.mx/clases/uv/clase.html>. [Último acceso: 22 04 2024].
- [22] M. Yakara, «Youtube,» 07 02 2024. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=kOCsljKx0bQ&t=1472s>.
- [23] L. J. Sandoval, «ItCa,» 18 07 2018. [En línea]. Available: [http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/3626/1/Art6\\_RT2018.pdf](http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/3626/1/Art6_RT2018.pdf). [Último acceso: 17 04 2024].
- [24] A. Herrero, «El Mundo,» 05 07 2023. [En línea]. Available: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2023/07/05/64a57e5efdddf67038b456d.html>. [Último acceso: 14 04 2024].
- [25] maggie, «Microsoft,» 30 05 2023. [En línea]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/create-reports/sample-artificial-intelligence>. [Último acceso: 22 04 2024].
- [26] S. Herrera, «Academia,» 06 03 2024. [En línea]. Available: <https://academia.com/articulos/power-bi-para-el-analisis-de-datos/>. [Último acceso: 22 04 2024].
- [27] Ionos, «Ionos,» [En línea]. Available: <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/configuracion/ubuntu-server/>. [Último acceso: 22 04 2024].
- [28] envira, «Envira,» [En línea]. Available: <https://envira.es/mantenimiento-estaciones-meteorologicas/>. [Último acceso: 23 04 2024].
- [29] Mechatronics, «Youtube,» 23 09 2022. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4obiI-lfiDg&list=PL49-cRtYqR65uzazufqaTe4jOJDpdUwcZ>. [Último acceso: 22 04 2024].